

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie



TVORBA ODTOKU V URBANIZOVANÉM ÚZEMÍ
RUNOFF GENERATION IN URBAN ENVIRONMENT

Změna odtoku z přívalových srážek z malého území po zástavbě

Stormwater runoff change in small build up areas

(diplomová práce)

Jan Píchal

Vedoucí práce: RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D.

Praha 2013

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracoval sám a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje.

Praha 22.4.2013

podpis

.....

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval především RNDr. Janu Daňhelkovi, Ph.D. za odborné vedení této práce. Též děkuji Českému hydrometeorologickému ústavu za poskytnutí podkladů CN čísel.

Abstrakt

Zvětšováním ploch nepropustných povrchů v urbanizovaných územích dochází k rychlejšímu odtoku z příčinných srážek a ke vzniku přívalových povodní v městském prostředí, jež vedou k častému přetížení kanalizační sítě. Ke kompenzaci nárůstu průtoku ze zastavěných ploch slouží vsakovací retenční nádrže. Dimenzování objemu vsakovacích nádrží na území ČR popisuje norma ČSN 75 9010. Předkládaná práce ověřuje na modelových povodích s různými vlastnostmi (plocha, sklon, charakter zástavby, infiltrační charakteristiky) funkčnost normy ČSN 75 9010.

Výpočet odtoku byl proveden modely Clarkova a trojúhelníkového (SCS) jednotkového hydrogramu (UH). Pro modelování Clarkova UH byl použit program HEC-HMS, pro trojúhelníkový UH byl pro účely práce vytvořen model soustavy vzorců a logických podmínek v prostředí MS Excel.

Odtok byl modelován pro případ 5letých, 10letých, 100letých a maximálních teoretických úhrnů srážek, tedy i srážek o delší době opakování, než předpokládá norma. Konečné výsledky byly hodnoceny srovnáním kladných rozdílů mezi kulminací odtoku ze vsakovacího zařízení při jeho přetečení a kulminací odtoků ze zájmových území před jejich zastavěním. Dále byl porovnán celkový objem přetečení ze vsakovací nádrže s celkovým objemem odtoku z povrchu před zastavěním povrchu a bylo provedeno vyhodnocení největších přetečení ze vsakovací nádrže.

Výsledky práce ukázaly, že při 5letých a 10letých srážkách kladné rozdíly kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení a kulminace odtoku před zastavěním nabývají největších hodnot na území s velmi malým sklonem. Při 100letých a maximálních srážkách jsou nejvyšší kladné rozdíly kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení a kulminace odtoků ze zájmových území před jejich zastavěním na územích s velkou mírou plánované urbanizace a to především při srážkách trvání 20 min až 120 min. Objem přetečení ze vsakovací nádrže byl při všech srážkách nižší než objem odtoku před urbanizací. Výsledky dosažené aplikací trojúhelníkového UH modelu nabývaly v průměru mírně vyšších hodnot než výsledky získané z Clarkova UH modelu, ale algoritmus trojúhelníkového UH modelu byl i přes svou jednoduchost vhodný k hodnocení přetečení ze vsakovací nádrže a objemů odtoku ze zájmového území.

Abstract

As the area of impervious surfaces at urban environment increases, the more rapid runoff and urban flash floods lead to frequent overflow of the sewer system. For storm water runoff prevention and mitigation, there are soakaways commonly built in newly build up areas. The soakaways volume calculation is given by ČSN 75 9010 regulation in the Czech Republic. The presented thesis verifies applicability of this regulation in selected study sites (small basins) of projected building construction model basins, which differ with regard to their infiltration characteristics, slope, area and degree of planned urbanization.

The runoff calculation was estimated by Clark's Unit Hydrograph (UH) transformation and triangular SCS UH. HEC-HMS software has been used for Clark's UH application. Triangular UH runoff calculation has been done using MS Excel environment to establish a series of equations and logical conditions.

Both models' results were compared for storms with 5 years, 10 years, 100 years and theoretical maximum return period; thus also for storms with longer return period than is proposed in the regulation. The positive differences in soakaway peak overflows and peak runoffs in study sites before the start of the urbanization were compared and evaluated, together with the differences in soakaway volumes and runoff volumes in chosen basins before the start of the urbanization and soakaway overflows.

The results of the presented thesis show that for the storms with 5 and 10 years return period, the highest positive differences in soakaway peak overflows and peak runoffs before the start of the urbanization can be found in basins with very low slope. For the 100 years storm and for the possible maximum precipitation, the highest positive differences of soakaway peak overflows and peak runoffs can be mostly found in highly urbanized basins, with the biggest differences found for storms with durations between 20 and 120 minutes. The soakaway overflow volume was lower than runoff volume before the start of the urbanization for all simulated storms. The numerical results of the triangular UH model are generally slightly higher than the numerical results of the Clark's UH model. Despite its simplicity, the algorithm of the triangular UH model can be considered applicable for evaluation of soakaway overflows and runoff volumes in chosen basins.

Obsah

Seznam obrázků a tabulek	9
1. Úvod	16
1.1 Cíle práce	16
1.2 Metodika práce	17
2. Fyzickogeografická charakteristika	18
2.1 Obecná charakteristika zájmových území	18
2.2 Geologické podmínky	22
2.3 Geomorfologické poměry a členění reliéfu	23
2.4 Půdní podmínky	24
2.5 Kategorizace infiltrace půd	25
2.6 Klimatické podmínky	27
3. Problematika odtoku v urbanizovaném povodí	33
3.1 Charakteristika odtoku z urbanizovaného prostředí	33
3.2 Změna srážkového režimu v urbanizovaném prostředí	36
3.3 Změny morfologické sítě urbanizovaného prostředí	37
3.4 Eroze v urbanizovaném prostředí	38
3.5 Změna teploty odtoku v urbanizovaném prostředí	39
3.6 Kvalita vody v urbanizovaném prostředí	40
3.7 Decentralizované odvodnění urbanizovaného prostředí	42
3.8 Teorie tvorby odtoku	43
3.9 Teorie separace hydrogramu	46
3.10 Srážko – odtokové modely	47
3.11 Právní rámec odtoku	47
3.12 Hyetogramy	49
4. Metodika práce	54
4.1 Tvorba návrhových srážek	54
4.2 Charakteristika jednotlivých zkoumaných území	56
4.3 Tvorba návrhových hyetogramů	57
4.4 Tvorba hydrogramu v prostředí MS Excel	58
4.4.1 Princip algoritmu výpočtu hydrogramu konečného odtoku trojúhelníkovým UH modelem (rovnice, logické podmínky a příkazy)	59

4.5	Tvorba hydrogramu v prostředí HEC-HMS	65
4.6	Výpočet přetečení ze vsakovacího zařízení	66
5.	Výsledky práce	70
5.1	Poměr kulminace odtoků ze zájmových území po stavbě a před stavbou při návrhových 5letých a maximálních srážkách	70
5.2	VILADOMY VELESLAVÍN – časové průběhy odtoku před stavbou, po stavbě a přetečení v případě 60min srážky na zájmovém území	73
5.3	Zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN	74
5.3.1	5leté úhrny srážek	74
5.3.2	10leté úhrny srážek	76
5.3.3	100leté úhrny srážek	77
5.3.4	Maximální úhrny srážek	78
5.4	Zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ	80
5.4.1	5leté úhrny srážek	80
5.4.2	10leté úhrny srážek	82
5.4.3	100leté úhrny srážek	83
5.4.4	Maximální úhrny srážek	85
5.5	Zájmové území BYTY SEMMERING	86
5.5.1	5leté úhrny srážek	86
5.5.2	10leté úhrny srážek	87
5.5.3	100leté úhrny srážek	87
5.5.4	Maximální úhrny srážek	88
5.6	Zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby	89
5.6.1	5leté úhrny srážek	89
5.6.2	10leté úhrny srážek	90
5.6.3	100leté úhrny srážek	91
5.6.4	Maximální úhrny srážek	92
5.7	Zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby	94
5.7.1	5leté úhrny srážek	94
5.7.2	10leté úhrny srážek	94
5.7.3	100leté úhrny srážek	94

5.7.4	Maximální úhrny srážek	95
6.	Shrnutí výsledků a diskuze	97
7.	Závěr	106
8.	Seznam použitých pramenů a literatury	108
9.	Přílohy.....	121
9.1	Poměr kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce	121
9.2	Poměr kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce	123
9.3	VILADOMY VELESLAVÍN – časové průběhy odtoku před stavbou, po stavbě a přetečení v případě 60min srážky na zájmovém území.....	126

Seznam obrázků a tabulek

<i>Obr. 1: Zájmové území BYTY SEMMERING</i>	19
<i>Obr. 2: Zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ</i>	19
<i>Obr. 3: Zájmové území PALÁC STROMOVKA</i>	20
<i>Obr. 4: Zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN</i>	20
<i>Obr. 5: Schematická mapa zájmových území</i>	21
<i>Obr. 6: Roční chod intenzity tepelného ostrova v Praze</i>	29
<i>Obr. 7: Průměrné sezónní a roční hodnoty intenzity (a jejich četnost v období 1961 - 1990) tepelného ostrova v cyklonálním a anticyklonálním nadtypu v Praze</i>	29
<i>Obr. 8: Typický postup tlakových níží po trajektorii V dle Van Bebbera</i>	31
<i>Obr. 9: Funkce velikosti odtoku na době opakování pro území s různou mírou urbanizace</i>	34
<i>Obr. 10: Porovnání specifického odtoku na území s přirozeným povrchem (Newaukum Creek) a urbanizovaném území (Mercer Creek)</i>	35
<i>Obr. 11: Srovnání týdenního rozložení srážek nad USA (možný vliv urbanizace) a Atlantským oceánem v blízkosti pobřeží</i>	37
<i>Obr. 12: Návrhové hyetogramy pro 24hodinové 100leté srážky</i>	52
<i>Obr. 13: Roční maxima krátkodobých srážek a jejich průměr v letech 1948 – 2010, stanice Brno Tuřany</i>	53
<i>Obr. 14: Úhrn srážek v závislosti na délce trvání</i>	55
<i>Obr. 15: Hyetogramy pro 120min srážku s 5letým opakováním</i>	57
<i>Obr. 16: Schematické znázornění průběhu odtoku</i>	63
<i>Obr. 17: Srovnání odtoku z 5min maximální teoretické srážky, 0 hyetogram, území PALÁC STROMOVKA</i>	66
<i>Obr. 18: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model</i>	71
<i>Obr. 19: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model</i>	71
<i>Obr. 20: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model</i>	72
<i>Obr. 21: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model</i>	72
<i>Obr. 22: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min maximální srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model</i>	73
<i>Obr. 23: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min maximální srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model</i>	74

<i>Obr. 24: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 5leté srážky, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 25: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 5leté srážky, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, Clarkův UH model.....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 26: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 5leté srážky, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 27: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 10leté srážky, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, Clarkův UH model.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 28: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 10leté srážky, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 29: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, Clarkův UH model.....</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 30: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, Clarkův UH model.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 31: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 32: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, Clarkův UH model.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 33: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 34: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, Clarkův UH model.....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 35: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 36: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 5leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model.....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 37: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>80</i>

<i>Obr. 38: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 5leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model</i>	81
<i>Obr. 39: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 5leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model</i>	81
<i>Obr. 40: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 10leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model</i>	82
<i>Obr. 41: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 10leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model</i>	82
<i>Obr. 42: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 10leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model</i>	83
<i>Obr. 43: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 10leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model</i>	83
<i>Obr. 44: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model</i>	84
<i>Obr. 45: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 100leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model</i>	84
<i>Obr. 46: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 100leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model</i>	84
<i>Obr. 47: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model</i>	85
<i>Obr. 48: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model</i>	85
<i>Obr. 49: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu maximální srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model</i>	86
<i>Obr. 50: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu maximální srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model</i>	86

Obr. 51: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území BYTY SEMMERING, Clarkův UH model.....	87
Obr. 52: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území BYTY SEMMERING, Clarkův UH model.....	88
Obr. 53: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území BYTY SEMMERING, Clarkův UH model.....	88
Obr. 54: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území BYTY SEMMERING, trojúhelníkový UH model.....	88
Obr. 55: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území BYTY SEMMERING, Clarkův UH model.....	89
Obr. 56: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území BYTY SEMMERING, trojúhelníkový UH model.....	89
Obr. 57: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 10leté srážky, zájmové území PALÁČ STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model.....	90
Obr. 58: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 10leté srážky, zájmové území PALÁČ STROMOVKA, neekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model.....	91
Obr. 59: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území PALÁČ STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model.....	91
Obr. 60: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území PALÁČ STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model.....	92
Obr. 61: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území PALÁČ STROMOVKA, neekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model.....	92
Obr. 62: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁČ STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model.....	92
Obr. 63: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁČ STROMOVKA, neekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model.....	93

<i>Obr. 64: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model</i>	93
<i>Obr. 65: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model</i>	93
<i>Obr. 66: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, Clarkův UH model</i>	95
<i>Obr. 67: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model</i>	95
<i>Obr. 68: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, Clarkův UH model</i>	95
<i>Obr. 69: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model</i>	96
<i>Obr. 70: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model</i>	96
<i>Obr. 71: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model</i>	96
<i>Obr. 72: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA neekologické varianty, trojúhelníkový UH model</i>	98
<i>Obr. 73: Časová závislost průtoku vyjádřeného intenzitami přetečení a odtoku před stavbou a po stavbě, návrhová 5letá 600min srážka typu B, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model</i>	99
<i>Obr. 74: Intenzita přetečení a odtoku, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, maximální 30min srážka</i>	101
<i>Tab. 1: Kategorizace infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nenasycení vodou</i>	26
<i>Tab. 2: Kategorizace infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nasycení vodou</i>	26
<i>Tab. 3: Hodnoty CN čísla a typy povrchu zkoumaných území</i>	56
<i>Tab. 4: Doby odtoku z jednotkové srážky (délka základny UH) a koncentrace T_c</i>	65

Přílohy:

<i>Obr. 1p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území BYTY SEMMERING, Clarkův UH model.....</i>	<i>121</i>
<i>Obr. 2p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území BYTY SEMMERING, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>121</i>
<i>Obr. 3p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, Clarkův UH model.....</i>	<i>121</i>
<i>Obr. 4p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>122</i>
<i>Obr. 5p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model.....</i>	<i>122</i>
<i>Obr. 6p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>122</i>
<i>Obr. 7p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model.....</i>	<i>123</i>
<i>Obr. 8p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>123</i>
<i>Ob. 9p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území BYTY SEMMERING, Clarkův UH model.....</i>	<i>123</i>
<i>Obr. 10p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území BYTY SEMMERING, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>124</i>
<i>Obr. 11p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, Clarkův UH model.....</i>	<i>124</i>
<i>Obr. 12p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>124</i>
<i>Obr. 13p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model.....</i>	<i>125</i>
<i>Obr. 14p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>125</i>
<i>Obr. 15p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model.....</i>	<i>125</i>

<i>Obr. 16p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>126</i>
<i>Obr. 17p: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min 5leté srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model.....</i>	<i>126</i>
<i>Obr. 18p: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min 5leté srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>127</i>
<i>Obr. 19p: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min 10leté srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model.....</i>	<i>127</i>
<i>Obr. 20p: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min 10leté srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>128</i>
<i>Obr. 21p: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min 100leté srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model.....</i>	<i>128</i>
<i>Obr. 22p: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min 100leté srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model.....</i>	<i>129</i>

1. Úvod

Podíl obyvatelstva žijícího ve městech celosvětově stoupá. V ČR dlouhodobě narůstá plocha zpevněných ploch v urbanizovaných oblastech, které se rozšiřují v souvislosti s rozvojem satelitního osídlení v okolí velkých měst. Výměra zastavěné plochy se však zvyšuje i v malých sídlech v souvislosti s rozvojem městského způsobu života i na venkově, a podél komunikací v podobě budování ekonomických aktivit.

S intenzivní výstavbou roste především v okolí velkých měst plocha střech a jiných zpevněných povrchů, kácení se lesy, narovnávají toky, staví meliorační zařízení apod. Díky velké ploše nepropustných ploch dochází k rychlému odtoku ze srážek a ke vzniku přívalových povodní. Kanalizační síť je často přetížená.

Na tuto skutečnost zareagoval český právní systém mimo jiné úpravami Vodního zákona (254/2001 Sb.) v oblasti nakládání se srážkovými vodami a novelizací prováděcích vyhlášek vyžadujících management srážkových vod, mimo jiné i v souladu s normou (ČSN 75 9010).

Zatímco dříve bylo zvykem odvádět všechnu vodu bez ohledu na její zdroj kanalizací, v dnešní době se začíná rozlišovat dešťová a splašková voda. Vznikají vsakovací nádrže na likvidaci dešťové vody, jež by měla být svedena v místě spadu do vsakovací nádrže, zadržena a vsáknuta. Vsakovací nádrže uleví kanalizační síti. K přetečení vody ze vsakovací nádrže (přetok může být sveden např. do terénní prohlubně, do vodního toku, nebo přepadovým potrubím do kanalizace) by mělo dojít pouze při pouze při výjimečně intenzivních srážkách.. Pro území ČR řeší dimenzování objemu vsakovací nádrže právě norma ČSN 75 9010.

1.1 Cíle práce

Hlavním cílem této práce je ověřit funkčnost normy ČSN 75 9010 na modelových urbanizovaných povodích s plánovanou změnou využití (zástavbou území) při návrhových srážkách různého průběhu, trvání a doby opakování. Otestovány budou nejen návrhové srážky zohledněné v normě (tj. srážky o době opakování 5 až 10 let), ale i srážky o delší době opakování, aby byla ověřena míra účinnosti normou požadovaných opatření i při extrémních událostech.

Prozkoumána bude antropogenní změna odtoku z území po jeho zástavbě v souladu s navrhovanými projekty, následně bude uvažováno případné přetečení ze vsakovací nádrže odpovídající požadavkům platné normy, která je vytvořena pro kompenzaci snížení retence v zastavěné oblasti. Míra přetečení bude porovnána s vypočteným odtokem z daného území před zástavbou.

Vedlejšími cíly práce je popis vybraných lokalit s ohledem na charakteristiky ovlivňující tvorbu odtoku a popis metod hodnocení odtoku v urbanizovaném prostředí, včetně definice návrhových veličin.

1.2 Metodika práce

Ke zjišťování změn odtoku byla v Praze vybrána čtyři vzorová zájmová území, na kterých se plánuje postavit/či již staví nová zástavba. Jedná se o:

- 1) území s ekologickými domy
- 2) území s rodinnými domy
- 3) území s viladomy
- 4) území s nákupním centrem. Toto území bylo zkoumáno ze dvou pohledů (stavba ekologického charakteru, stavba neekologického charakteru).

Vzorová území se navzájem liší typem a velikostí zástavby, a právě ta ovlivňuje charakteristiky odtoku srážkových vod. Vzhledem k tomu, že stavebníci či zadavatelé stavby jsou ochotni poskytnout jen velmi omezené technické informace, byl při výběru zájmových území kladen důraz pouze na typ plánované zástavby.

2. Fyzickogeografická charakteristika

2.1 Obecná charakteristika zájmových území

Celková výměra zájmového území (povodí) VILADOMY VEESLAVÍN (VILADOMY VEESLAVÍN, 2013 – ČÚŽK, 2013 – Geoportál, 2013) je 11259 m². Nadmořská výška (310÷317,5) m n. m., průměrný sklon 7,06 % a maximální délka povrchového odtoku je 147 m. Zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ (RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, 2013 – ČÚŽK, 2013 - Katastr nemovitostí, 2013 – Geoportál, 2013) má celkovou plochou 3174 m². Území je v nadmořské výšce (274÷275) m n. m. a maximální délka povrchového odtoku s průměrným sklonem 1,77 % je 90 m. Nadmořská výška zájmového území PALÁC STROMOVKA (PALÁC STROMOVKA, 2013 – ČÚŽK, 2013 – Geoportál, 2013) je (204÷212) m n. m., celková výměra 9926 m², průměrný sklon sklon území je 8,01 % a maximální délka povrchového odtoku je 142 m. Maximální délka povrchového odtoku odvodňující zájmové území BYTY SEMMERING (BYTY SEMMERING, 2013 – ČÚŽK, 2013 – Geoportál, 2013) je 66 m, průměrný sklon 10,83 %. Území se nalézá v nadmořské výšce (214÷219) m n. m. a celková plocha je 2131 m².

Zájmové území BYTY SEMMERING (obr. 1) je odvodněno do Dalejského potoka, který se vlévá do Vltavy, zájmová území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ (obr. 2) a PALÁC STROMOVKA (obr. 3) jsou odvodňována od Vltavy přímo. Zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN (obr. 4) leží na rozvodnici oddělující od sebe území odvodněné Litovickým potokem a území odvodněné přímo do Vltavy (ČHMÚ, 2013 A). Schematická mapa zájmových území je na obr. 5.

Při zjišťování velikosti a přesných rozměrů zájmových území se vycházelo pouze z oficiálních materiálů developerských společností a katastrálních map, neboť stavební plány nebyly k dispozici. Zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN se skládá z parcel 143, 144, 145/1, 145/2, 146/1, 146/2, 147, 150, 151, 153, 154/1, 154/3, 154/6, 155/4, 155/5, 155/6 katastrální území Veeslavín (VILADOMY VEESLAVÍN, 2013 – ČÚŽK, 2013 – Geoportál, 2013). Zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ je složeno z parcel 1337/2, 1348, 1349/1, 1349/2, 1350/1, 1350/3, 1350/4, 1350/5, 1350/6, 1350/7, 1350/8, 1350/12 katastrální území Suchdol (RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, 2013 – ČÚŽK, 2013 - Katastr nemovitostí, 2013 - Geoportál 2013). Zájmové území PALÁC STROMOVKA se skládá z parcel 1549/1 a 1549/6 katastrální území Bubeneč (PALÁC STROMOVKA 2013 - ČÚŽK, 2013 – Geoportál, 2013). Zájmové území BYTY SEMMERING se skládá z větší části parcely 1282/1 katastrálního území Hlubočepy. Podle schematické mapy byla developerskou společností

zakoupena celá parcela, ale její část byla ponechána ladem (BYTY SEMMERING, 2013 – ČÚZK, 2013 – Geoportál, 2013)

Obr. 1: Zájmové území BYTY SEMMERING



Obr. 2: Zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ



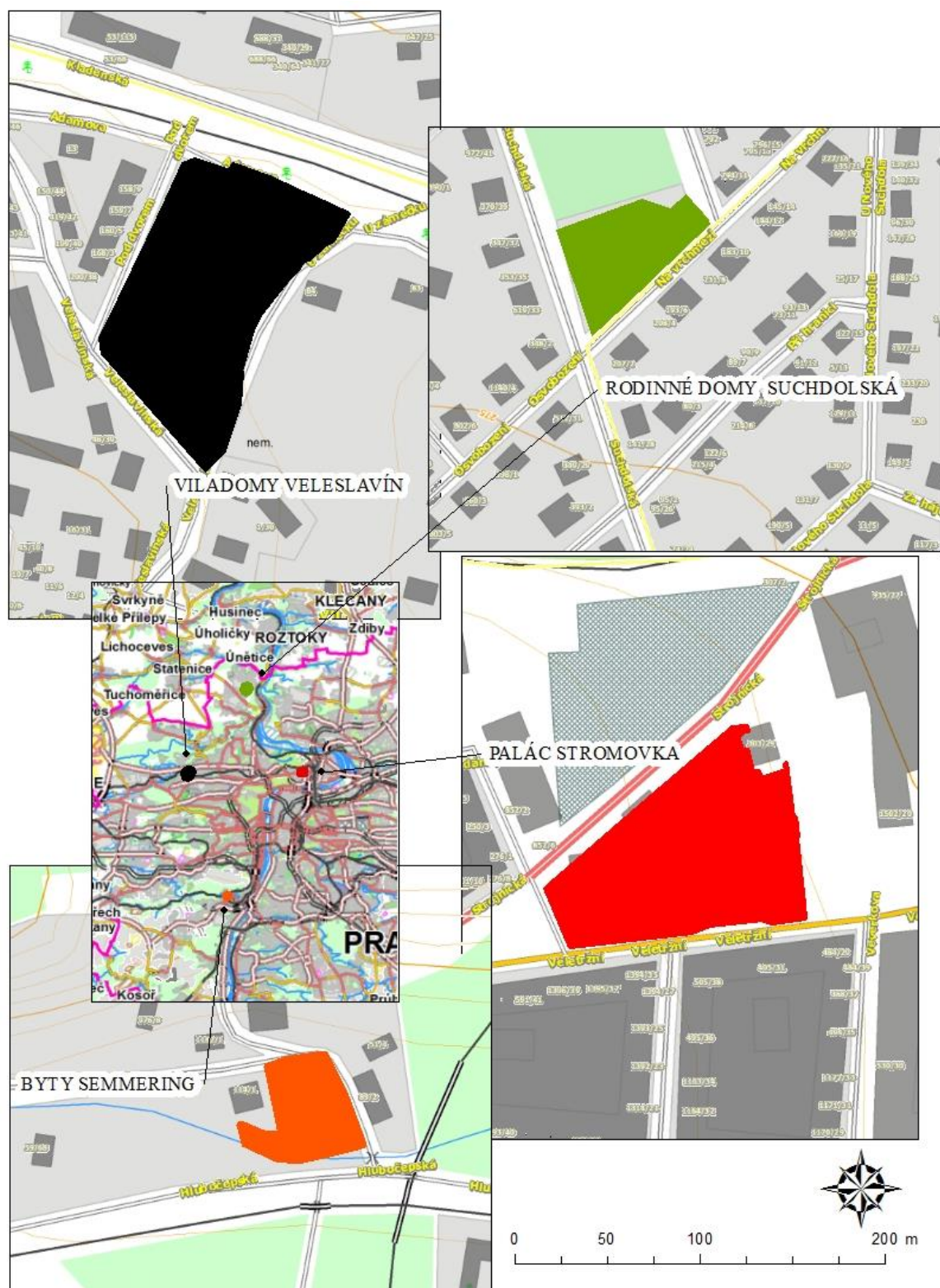
Obr. 3: Zájmové území PALÁC STROMOVKA



Obr. 4: Zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN



Obr. 5: Schematická mapa zájmových území



Zdroj: BYTY SEMMERING, 2013 – VILADOMY VEŠSLAVÍN, 2013 – RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, 2013 – PALÁC STROMOVKA, 2013 – ČÚZK, 2013 – Geoportál, 2013

2.2 Geologické podmínky

Území Prahy je součástí středočeské oblasti (Bohemikum) Českého masivu.

Nejstarším útvarem tvořícím podloží mladších uloženin na celé ploše Prahy je svrchní proterozoikum, jehož mocnost je několik km. Převažují v něm různé typy břidlic, drob, buližníků i vulkanitů. Jelikož kadomská orogeneze tyto horniny provrásnila, další soubor staršího paleozoika leží na svrchním proterozoiku značně nesouhlasně (Kovanda et al., 2001).

Starší paleozoikum je reprezentováno opět různými typy břidlic, pískovci, slepenci, vápenci a vulkanity. Mocnost tohoto souboru přesahuje 2 km (Kovanda et al., 2001). Oba soubory patří do tzv. Barrandienu. Z mladšího paleozoika se v podloží zájmového území VILADOMY VELESLAVÍN nalézají ve svrchním a středním ordoviku uložené zpevněné bělošedé sedimenty křemenných pískovců (ČGS, 2013). Z období svrchní ordovik lze na zájmovém území PALÁC STROMOVKA nalézt zpevněné sedimenty drob, pískovců, prachovců a jílovitých břidlic (ČGS, 2013). Na území BYTY SEMMERING se nachází eifelské a givetské zpevněné sedimenty prachovců (s vložkami pískovců, na bázi černými vápnitými břidlicemi a bituminózními vápenci) středně devonského stáří (ČGS, 2013).

Po dlouhém hiátu se na území velké Prahy ukládají nejdříve sladkovodní, poté mořské sedimenty svrchně křídového stáří. Tvoří ploché nejvyšší partie Prahy a jsou jihozápadním okrajem české křídové pánve rozkládající se v severních Čechách. Jejich mocnost je pouze několik desítek metrů (Kovanda et al., 2001). Obnažené sedimenty tohoto stáří (jemnozrnné až hrubozrnné zpevněné sedimenty křemenných, jílových, glaukonitických cenomanských pískovců a zpevněné sedimenty cenomanských jílovců, uhelné jílovců, uhlí, prachovců a slepenců) se nacházejí na území VILADOMY VELESLAVÍN (ČGS, 2013).

Z celého paleogénu chybí jakýkoli doklad o sedimentaci, neboť během tohoto období byl povrch terénu intenzivně narušován probíhajícími pochody tropického a subtropického zvětrávání a mnohokrát opakujícím se procesem eroze a denudace zarovnan do paroviny. Miocénní akumulace vyplňují terénní deprese typicky ve výškách od 380 m n. m. (Kovanda et al., 2001). Pliocénní akumulace jsou sedimenty tzv. zdíbského stádia.

Na tvaru současného pražského reliéfu má největší podíl erozní báze Vltavy. V širším údolí Vltavy lze identifikovat čtyři základní skupiny kvartérních fluviálních teras (Záruba et al., 1977 – Kovanda et al., 2001). Zájmové území RODINNÉ DOMEY SUCHDOLSKÁ se nalézá na terase Suchdol Ib, která patří do skupiny nejstarších a nejvyšších kvartérních fluviálních teras (Záruba et al., 1977). Sedimenty uložené v tomto období (nezpevněné sedimenty spraší a sprašových hlín svrchního kvartéru

okrové barvy tvořené křemenem a CaCO_3 s klastickými příměsemi) tvoří podloží zájmového území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ (ČGS, 2013). Na terase Dejvice Va středně pleistocénního stáří, která patří do třetí skupiny kvartérních fluviálních teras (Záruba et al., 1977), je situováno zájmové území PALÁC STROMOVKA. V tomto období (svrchní Riss) byly na zájmovém území PALÁC STROMOVKA uloženy hrubozrnné nezpevněné písky a šterky (ČGS, 2013).

Holocenní nivní aluvia tvoří svrchní část niv všech současných toků nad svrchně pleistocénními sedimenty. Původní poměry povrchu nivy jsou na území Prahy většinou zastřeny antropogenními úpravami, zmizela některá stará slepá říční ramena, staré toky potůčků a mírné terénní nerovnosti. Mocnost nivních uloženin se zpravidla pohybuje v intervalu (2÷5) m (Kovanda et al. 2001). Holocenní nezpevněné nivní sedimenty (hlína, šterk a písek) inundované za vyšších vodních stavů, tvoří podloží zájmového území BYTY SEMMERING (ČGS, 2013).

2.3 Geomorfologické poměry a členění reliéfu

Převážná část Prahy se nachází na Pražské plošině, která je součástí geomorfologického celku Brdská oblast příslušné k Poberounské subprovincii. Přibližně 15 % (Kovanda et al., 2001) území Prahy se nachází na území Středolabské tabule, která je součástí geomorfologického celku Středočeská tabule příslušné k České tabuli. Charakteristickým rysem reliéfu Prahy jsou zarovnané plochy plošinného až mírně ukloněného reliéfu, do kterých se hluboce zařezává údolí Vltavy. Reliéf Prahy je tedy význačný velkými výškovými rozdíly pahorkatinného až vrchovinného rázu.

Plošinné a velmi mírně ukloněné povrchy lze rozdělit podle výškové úrovně a stáří na tři skupiny. Nejstarší a nejvýše položené jsou v miocénu zarovnané povrchy v západní části Prahy, které jsou vyvinuty na paleozoických a křídových horninách. Jejich nadmořská výška se pohybuje mezi (360÷390) m n. m. (Kovanda et al., 2001). Níže položené povrchy jsou převážně ve výškách (290÷330) m n. m. (Kovanda et al., 2001). Jelikož se na nich nalézají denudační relikty křídových sedimentů na úpatí buližnickových suků, jedná se o zarovnaný reliéf překřídového stáří, který byl exhumován v mladších třetihorách. Nejnižší položené plošiny mezi (250÷280) m n. m. jsou kvartérního stáří. (Kovanda et al., 2001).

Pražskou plošinu ve směru J – S protíná hluboké údolí řeky Vltavy. Údolí má v pražské kotlině nesouměrný příčný profil s příkrým levým svahem a mírnějším pravým, na němž jsou uloženy říční sedimenty a vyvinuty kvartérní říční terasy. Přítoky Vltavy se epigeneticky zařezávají do tabule tvořené křídovými sedimenty (Kovanda et al., 2001).

Pražská plošina se dělí na dva podcelky – Říčanskou plošinu a Kladenskou plošinu. Mezi okrsky Kladenské plošiny patří Hostivická tabule a Turská plošina. Hostivická tabule je v oblasti souvislého rozšíření svrchnokřídových hornin tvořících zarovnaný povrch mírně ukloněný k JZ. Protíná ji epigenetické údolí Šáreckého potoka, na jehož rozhraní se na akumulární konkávní části v těsné blízkosti pod obnaženou křídovou tabulí nachází zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN (Kovanda et al., 2001). V horní konvexní části Turské plošiny, která má převážně plošinový reliéf na exhumovaných proterozoických horninách s vystupujícími bulžníkovými suký a protíná ji Zákolanský a Únětický potok, se nalézá zájmové území DOMY SUCHDOLSKÁ (Kovanda et al., 2001). K Říčanské plošině náleží okrsky Pražská kotlina i Třebotovská plošina. Zájmové území PALÁC STROMOVKA se nachází na jesešní části Holešovického meandru, který je součástí Pražské kotliny tvořené říční nivou a nejmladšími terasami Vltavy (Kovanda et al., 2001). Třebotovská plošina se vyznačuje silně rozčleněným erozně denudačním reliéfem se zarovnanými povrchy, ze kterých vystupují suký a strukturní hřbítky, a hluboce zaříznutými levostrannými přítoky Vltavy, mezi které patří i údolí Dalejského potoka. Zájmové území BYTY SEMMERING se nachází v jeho dolní části, částečně i v údolní nivě. (Kovanda et al., 2001 – ČHMÚ, 2013 A).

2.4 Půdní podmínky

Informace o půdním pokryvu zájmových území jsou v závislosti na druhu zdroje mírně odlišné. Půdní podmínky byly odvozeny z údajů v Půdní mapě ČSR (1988), Půdní mapě ČR (1993) a údajů ENVIS (2013).

Zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN je téměř celé součástí oblasti H 98 (půdní typ hnědá půda), okrajově do něj zasahuje také oblast K 101 (půdní typ ranker) (Půdní mapa ČSR, 1988). Zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ je součástí oblasti M 34 (půdní typ hnědozem) (Půdní mapa ČSR, 1988). Zájmové území PALÁC STROMOVKA je součástí oblasti H 18 (půdní typ hnědá půda na píscích a štěrcích) (Půdní mapa ČSR, 1988) a zájmové území BYTY SEMMERING je součástí oblasti R 83 (půdní typ rendzina) (Půdní mapa ČR, 1993).

Podle informačního servisu o životním prostředí v Praze (ENVIS, 2013) se v oblasti hnědých půd se syrovými půdami a rankery nachází zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN. Zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ je celé pokryto hnědozemí, zatímco zájmové území PALÁC STROMOVKA je tvořeno její varetou: hnědými půdami arenickými. Zájmové území BYTY SEMMERING je tvořeno rendzinami s terrami calcis.

Hnědozemě jsou součástí referenční třídy půd Luvizemí. Hnědozemě se vytváří ze spraší, prachovnic a polygenetických hlín (Taxonomický klasifikační systém půd ČR, 2013) v rovinatém a mírně zvlněném reliéfu nižšího stupně pahorkatin v nadmořských výškách 150 – 450 m a ročním úhrnem srážek (600÷700) mm (Bielek, 2004). Její subtyp hnědozem arenická vzniká na lehčích substrátech, např. na písčích obohacených spraší. (Vokoun, 2002).

Rankery jsou součástí referenční třídy půd Leptosolí. Tento typ půd se vytváří skeletovitým rozpadem hornin nebo či ze skeletovitých bazálních souvrství silikátových hornin s větším než 50% podílem skeletu (Taxonomický klasifikační systém půd ČR, 2013).

Součástí referenční třídy půd Leptosoly jsou také rendziny. Tento typ půdy vzniká ze skeletovitých rozpadů karbonátových hornin, převážně vápenců a dolomitů. Vzhledem k nízkému výskytu vápenců se na našem území vyskytuje omezeně (Taxonomický klasifikační systém půd ČR, 2013). Jsou silně vysychavé, na strmých svazích trpí erozí (Vokoun, 2002). Mezi její hlavní subtypy patří rendzina rubefikovaná, která vzniká na rusifikovaných substrátech typu terra calcis (terra rosa a terra fusca) (Bielek, 2004).

2.5 Kategorizace infiltrace půd

Infiltrace je součástí koloběhu vody. Infiltrační schopnost a propustnost půd významně ovlivňuje velikost a rychlost odtoku z příčinných srážek. Znalost infiltračních vlastností půd nacházejících se na zkoumaných zájmových územích je pro potřeby této práce velmi důležitá.

Infiltrace (vstup vody do půdy) a propustnost (rychlost pohybu vody v půdě) závisí na řadě půdních charakteristik a vlastností. Mezi nejdůležitější půdní vlastnosti ovlivňující infiltraci a propustnost patří především (Mackovčín, 2001):

1. Zrnitostní složení půdního profilu
2. Výskyt horizontů v půdním profilu s odlišnými fyzikálními vlastnostmi nebo zrnitostním složením
3. Strukturní stav půdy
4. Hloubka půdy k pevné hornině nebo hladině podzemní vody
5. Mineralogické složení-jílových frakcí, které ovlivňují objemové změny půdy při bobtnání a smršťování (kaolinit je nebobtnavý, illit slabě bobtnavý, montmorillonit silně bobtnavý), a tím vznik půdních trhlin
6. Charakter pórů – jejich velikost a rozmístění

7. Obsah humusu (% organické látky) a množství humusu

Jednotlivé kategorie infiltrační schopnosti půd při nenasycení a nasycení vodou jsou uvedené v tab. 1 a tab. 2.

Tab. 1: Kategorizace infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nenasycení vodou

Kategorie	Infiltrace	Charakteristika - půdy
I	<i>Velmi vysoká</i> (2,5÷5,0) mm.min ⁻¹ a vyšší	<i>Vysoká až nadměrná infiltrace; převážně hluboké a nadměrně odvodněné pisky a štěrkopisky; s časem se infiltrace nezpomaluje</i>
II	<i>Vysoká</i> (0,85÷2,5) mm.min ⁻¹	<i>Hlinitopísčité půdy nebo půdy s velmi propustným podložím a středně těžkou ornici; např. lehké spraše</i>
III	<i>Střední</i> (0,25÷0,85) mm.min ⁻¹	<i>Hlinité, dobře strukturní půdy, případně středně těžké v povrchové vrstvě a těžší (jíl) ve spodině</i>
IV	<i>Nízká</i> (0,08÷0,25) mm.min ⁻¹	<i>Jílovitohlinité půdy, půdy nestrukturní, nestrukturní, půdy s výrazným utužením, půdy s lehčí povrch. vrstvou a těžší (jílovitou) spodinou</i>
V	<i>Velmi nízká</i> pod 0,08 mm.min ⁻¹ půdy	<i>Velmi nízká infiltrace od povrchu; těžké, jílovité půdy nebo jíly, popř. půdy obdobného charakteru (terciér); v počátku může být infiltrace velmi rychlá do gravitačních pórů (trhlin), do nabobtnání jílu</i>

Zdroj: Mackovčín, 2001

Tab. 2: Kategorizace infiltrační schopnosti a propustnosti půd při nasycení vodou

Kategorie	Propustnost	Charakteristika půdy
I	<i>Velmi vysoká</i> 0,25 mm.min ⁻¹	<i>Vysoká propustnost i při úplném nasycení; převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné pisky a štěrky</i>
II	<i>Vysoká</i> (0,12÷0,25) mm.min ⁻¹	<i>Dobrá propustnost i při úplném nasycení; hlinitopísčité profily, ale i spraš na písku; hluboké půdy</i>
III	<i>Střední</i> (0,05÷0,12) mm.min ⁻¹	<i>Půdy hlinité v celém profilu nebo středně těžké v povrchové vrstvě a s těžší (jílovitohlinitou) spodinou;</i>
IV	<i>Nízká</i> (0,025÷0,05) mm.min ⁻¹	<i>Nízká propustnost při úplném nasycení: půdy v celém profilu jílovitohlinité nebo s vylehčenou ornici a těžší (málopropustnou) spodinou; půdy se silně utuženým podorničím</i>
V	<i>Velmi nízká</i> 0,025 mm.min ⁻¹	<i>Velmi nízká propustnost při úplném nasycení; převážně jílovité půdy nebo jíly s vysokou bobtnavostí; půdy s vysokou hladinou podzemní vody při povrchu; některé mělké půdy nad téměř nepropustným podložím</i>

Zdroj: Mackovčín 2001

Podle Vyhlášky č. 327/1998 Sb. lze každému půdnímu typu, který se nachází v oblasti zkoumaných zájmových území, přiřadit bodové hodnocení hlavní půdní jednotky (HPJ). HPJ je součástí kódu bonitačních půdně ekologických jednotek (BPEJ). Bodový systém BPEJ popisuje hlavní půdní a klimatické podmínky mající vliv na ekonomické ohodnocení půdy a její produkční schopnost. Kód BPEJ je vyjádřen pětímístným číslem, jehož číslice mají následující význam (Vyhláška č. 327/1998 Sb):

1. První číslice kódu vyjadřuje příslušnost ke klimatickému regionu (0 – 9). Základní kritéria při tvorbě klimatické regionalizace byla (SOWAC GIS, 2013):
 - 1.1. Počet dní v roce s průměrnou teplotou alespoň 10 °C
 - 1.2. Průměrné roční teploty a průměrné teploty ve vegetačním období (duben - září)
 - 1.3. Průměrný roční úhrn srážek a průměrný úhrn srážek ve vegetačním období
 - 1.4. Pravděpodobnost výskytu suchých vegetačních období (%)
 - 1.5. Výpočet vláhové jistoty, výpočet hranice sucha ve vegetačním období, nadmořská výška regionu
2. Druhá a třetí číslice kódu vyjadřuje příslušnost k určité půdní jednotce, která je účelovým seskupením půdních forem příbuzných vlastností (genetický půdní typ, půdotvorný substrát, zrnitost, hloubka půdy, stupeň hydromorfismu...) (01 – 78)
3. Čtvrtá číslice kódu vyjadřuje sklonitost a expozici (0 – 9)
4. Pátá číslice kódu vyjadřuje skeletovitost, tedy podíl pevných částic větších než 4 mm a hloubku půdy (0 – 9)

Podle mapových podkladů VÚMOP (VUMOP, 2013) je zájmovému území VILADOMY VELESLAVÍN přiřazeno BPEJ 226140 a 226110, zájmovému území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ je přiřazeno BPEJ 210000, zájmovému území PALÁC STROMOVKA je přiřazeno BPEJ 222120 a zájmovému území BYTY SEMMERING je přiřazeno BPEJ 258000 a 226440.

Vzhledem k tomu, že typ půdy příslušný hlavní půdní jednotce (HPJ) odvozené z kódů BPEJ neodpovídá půdním typům odvozeným z půdních map (Půdní mapa ČSR 1988, Půdní mapa ČR 1993), byly hodnoty HPJ odvozeny z půdních map. Tento rozpor je zřejmě způsoben větší generalizací map BPEJ charakteristik. Charakteristikou HPJ č. 16 na území PALÁC STROMOVKA a HPJ č. 18 na území BYTY SEMMERING jsou středně propustné půdy infiltrační schopnosti kategorie III (tab. 1 a tab. 2) charakteristikou HPJ č. 10 na území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ jsou středně až málo propustné půdy infiltrační schopnosti kategorie III až IV a charakteristikou HPJ č. 13 na území VILADOMY VELESLAVÍN jsou dobře až středně propustné půdy infiltrační kategorie II – III (Mackovčín, 2001 – Vyhláška č. 327/1998 Sb).

2.6 Klimatické podmínky

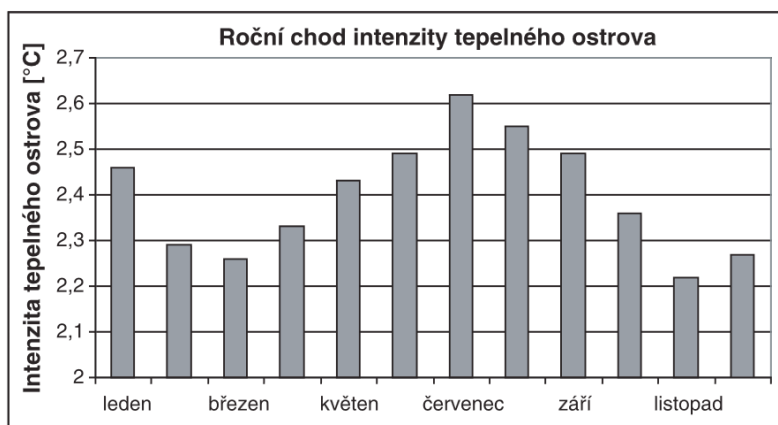
Urbanizace podle Beranové a Hutha (2003) mění přirozené vlastnosti povrchu a atmosféry. Dochází ke změnám jak hydrologických charakteristik, tak i změnám vlhkostním, mění se teplota,

aerodynamické vlastnosti a intenzita vyzařování povrchu. Materiály na stavbu budov mají mít dobré izolační vlastnosti a nepropouštět vodu. Povrch budov pohlcuje záření a jejich uspořádání způsobuje stagnaci vzduchových hmot. Dochází ke vzniku městského tepelného ostrova. Intenzita městského tepelného ostrova závisí na mnoha faktorech. Tím nejdůležitějším je denní doba, neboť městský tepelný ostrov je nejvíce rozvinut v nočních hodinách. Dalším důležitým faktorem je typ počasí. Při bezoblačném počasí a bezvětří či slabém větru je intenzita městského tepelného ostrova vyšší. Méně důležitou roli hraje i tepelné znečištění z antropogenních zdrojů, jejichž vliv závisí na ročním období. Intenzita jevu se také zvyšuje s růstem velikosti města.

Mezi městské tepelné ostrovy se řadí i Praha. Podle obr. 6 intenzita pražského tepelného ostrova vykazuje dvojitý roční chod s hlavním maximem v červenci a vedlejším maximem v lednu, s hlavním minimem v listopadu a vedlejším minimem v březnu. Největší průměrné intenzity tepelného ostrova jsou zaznamenány v letním období. Podle Beranové a Hutha (2003) je průměrná intenzita pražského městského ostrova v letním období (porovnávání teplot v pražském Klementinu s teplotama v Ondřejově, Brandýse a Doksanech) 2,55 °C a maximální 6,63 °C. V zimním období je průměrná intenzita tepelného ostrova (2,34 °C) nižší než v létě, maximální intenzita tepelného ostrova 8,5 °C naměřená v zimě je ale nejvyšší ze všech ročních období (Beranová a Huth, 2003).

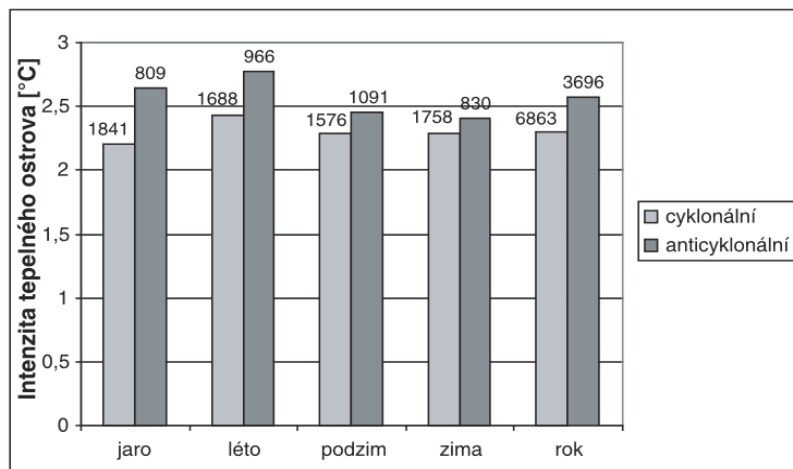
Z obr. 7 je patrné, že pražský tepelný ostrov je lépe vyvinut při anticyklonálních situacích než při cyklonálních situacích. Za cyklonálních situacích je tepelný ostrov vyvinut nejlépe v létě (2,43 °C), a nejméně na jaře (2,2 °C) (Beranová a Huth, 2003). U anticyklonálních situací je rozdíl mezi maximem a minimem intenzity vyšší, neboť během zimního období je anticyklonální situace často doprovázena inverzí, nízkou oblačností a mlhami. Největší intenzity pražského městského tepelného ostrova za anticyklonálních situací je dosahováno v létě (2,77 °C) a nejnižší intenzity v zimě (2,41 °C) (Beranová a Huth, 2003). Největší intenzity dosahuje tepelný ostrov za situací putujících anticyklón Ap1 – Ap4, neboť tyto situace se vyznačují nejdéle trvajícím slunečním svitem ze všech situací. Tepelná energie během jejich výskytu je ve dne akumulována v materiálech použitých k výstavbě města a v noci uvolňována do atmosféry. Jejich výskyt je sice oproti jiným situacím málo četný, ale intenzita tepelného tepelného ostrova je nejvyšší v létě za situace Ap4, v zimě za situace Ap1. Naopak nejnižší intenzita pražského tepelného ostrova je při Jihovýchodní cyklonální situaci (Sec) během zimního období, v letním během výskytu Cyklony nad střední Evropou (C) (Beranová a Huth, 2003).

Obr. 6: Roční chod intenzity tepelného ostrova v Praze



Zdroj: Beranová a Huth, 2003

Obr. 7: Průměrné sezónní a roční hodnoty intenzity (a jejich četnost v období 1961 - 1990) tepelného ostrova v cyklonálním a anticyklonálním nadtypu v Praze



Zdroj: Beranová a Huth, 2003

Z atlasu podnebí Česka (Tolasz et al., 2007) lze vyvodit:

- 1) Z hlediska průměrné teploty lze Prahu rozdělit na tři části. Na nejteplejší oblast a) centrum Prahy (Staré město, Libeň, Holešovice), b) Pražskou kotlinu a c) Pražskou náhorní plošinu (Pražský hrad, Ladronka, Hvězda) spolu s okrajovými částmi Prahy. Centrum Prahy vykazuje dlouhodobě nejvyšší průměrné teploty v ČR, s průměrnou roční teplotou přesahující 10°C překonává i Polabí a jižní Moravu. Ve zbytku Pražské kotliny se roční průměrné teploty pohybují mezi 9 – 10 °C, což je teplotně srovnatelné s Polabím a jižní Moravou. Na Pražské náhorní plošině se průměrné

roční teploty pohybují mezi 8 – 10 °C Průměrná lednová teplota je na většině území Prahy vyšší než 0 °C, což jsou nejvyšší hodnoty v ČR, na Pražské náhorní plošině se pohybuje mezi -1 až 0 °C. V březnu je průměrná teplota v centru Prahy vyšší než 5 °C, zatímco ve zbytku ČR dosahují maximálně 5 °C. Též v říjnu je centrum Prahy s průměrnou teplotou vyšší než 10 °C nejteplejší v ČR. Průměr ročních minim teploty kolísá v Praze mezi -15 až -17 °C.

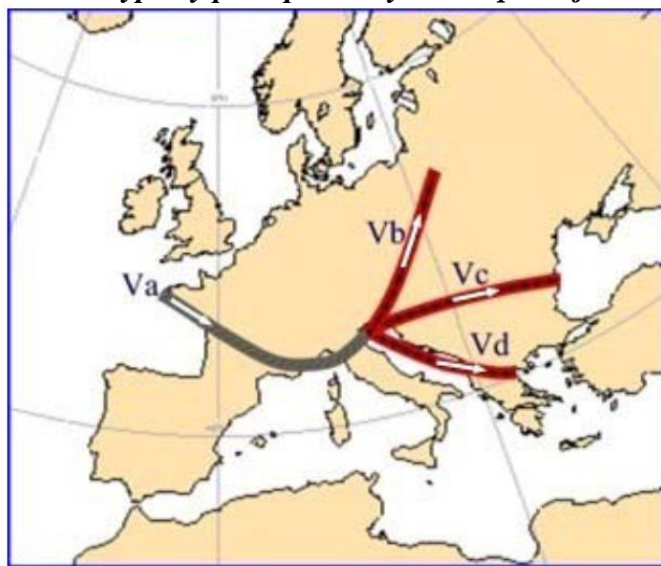
- 2) Srážkově je území Prahy průměrné. Celkový roční úhrn srážek je mezi 450 – 500 mm, na východě Prahy roste až na 550 mm. Srážkově nejchudší jsou měsíce leden a únor, kdy je měsíční úhrn nižší než 30 mm. Nejdeštivějšími jsou měsíce květen, červen, červenec a srpen. Během těchto měsíců měsíčně spadne 60 – 80 mm srážek. Celkově během letního půlroku (duben – září) spadne 325 – 350 mm.
- 3) Jednodenní maximum srážek na území Prahy se pohybuje mezi 60 – 100 mm, dvoudenní mezi 100 – 200 mm a třídní mezi 120 – 250 mm. Průměrný sezónní (květen – září) počet dní se srážkami 30 mm a více za jednu hodinu se na území Prahy pohybuje mezi 0,1 – 0,2, na severním okraji Prahy klesá až na méně než 0,1. Průměrný sezónní počet dní se srážkami 30 mm a více za 24 hodin se na území Prahy pohybuje mezi 0,5 – 1. Při porovnání intenzity 2letých srážek s dobou trvání do 40 min na území Česka je patrné, že není velký rozdíl mezi intenzitou srážek v Praze a jiných stanicích v nižší nadmořské výšce a intenzitou srážek v horských oblastech. Rozdíl intenzit 2letých srážek do 24 hod je mnohem vyšší. To podporuje známý fakt, že na celkovém úhrnu srážek v nižších polohách mají krátkodobé přívalové srážky ve srovnání s horskými oblastmi vyšší podíl.
- 4) Na základě hodnot Gorczyňského indexu termické kontinuality a umbrické kontinuality lze říci, že kontinentalita v Praze je v rámci ČR nižší než na Moravě.

Pro typ povětrnostní situace mají základní význam typy tlakových útvarů, ale i způsob vzniku, jejich velikost, tvar, směr a rychlost pohybu. Dlouhodobým pozorováním synoptických situací nad naším územím bylo potvrzeno několik typů, které přinášejí vydatné srážky do střední Evropy.

Nejčastějším typem jsou tlakové níže pohybující se po tzv. trase Vb, která je jednou z větví trasy Va. Trasa Va se táhne od Biskajského zálivu do Janovského zálivu, kde se dělí na tři větve, z nichž jedna je trasa Vb (obr. 8). Nejdůležitějším kritériem pro definici směru pohybu tlakové níže je umístění jejího středu nad evropským kontinentem (ČHMÚ, 2012 A). Tyto typy synoptické situace se nejčastěji vyskytují během jara a léta. Průměrný úhrn srážek při těchto situacích je v Praze v letním půlroce (duben – září) 80 – 100 mm (Tolasz et al., 2007).

Typickým příkladem silných srážek způsobených tlakovou níží pohybující se po dráze Vb jsou katastrofální povodně v roce 2002 (ČHMÚ, 2012 A - Müller a Kakos, 2003), jež se projevily i na území Prahy. Tyto povodně byly způsobeny dvěma vlnami přívalových srážek, od 6. do 8.8. 2002 a od 11. do 12.8.2002. Obě vlny jsou charakterizovány povětrnostní situací Cyklona nad střední Evropou (C).

Obr. 8: Typický postup tlakových níží po trajektorii V dle Van Bebbera



Zdroj: ČHMÚ, 2012 A

Další situace příhodná pro vznik silných srážek nad střední Evropou je charakterizována západním prouděním s jižní drahou poruch. Nad Skandinávií leží brázdy, které posunují výrazné západní výškové zonální proudění od východního pobřeží Kanady až po Ural (mezi 50°a 60°s.š) k jihu. Nezřídka déletrvající plošně rozsáhlé srážky vypadávají na postupujících frontách, které často zpomalují a vlní se. Zvýrazňují se tepelné kontrasty a dochází ke střídání chladnější tepelné hmoty s teplejší. Typickým příkladem tohoto typu počasí byl červenec roku 2012, kdy se na území Prahy vyskytovaly ve dnech 2.7., 3.7. a 5.7. velmi silné bouřky, někdy i s přívalovými srážkami (ČHMÚ 2012 A – ČHMÚ, 2012 B).

Jako příklad intenzivních srážek při situaci Ec, která může nastat i na území Prahy, lze uvést průběh povodně 24.6. 2009 na Novojičínsku, kterou podrobně popsal Sandev et al. (2009). Situace Ec trvala až do 3.7, poté na území ČR pronikla okluzní fronta ze severozápadu, za kterou začal pronikat studený vzduch. Vzniklé přívalové srážky postihly lokality Kamenice a Bystrá, Volyňku s Blanicí, Oslavu, Vidnávku s Bělou a Luhu, Jičínku a zvláště Husí potok kde byly srážky nejintenzivnější (EDPP,

2012),. Příčinou byl tzv. train effect, což je liniové seskupení bouřek opakovaně postupujících přes stejné území. Podle radarových měření přitom nešlo o nijak intenzivní bouřky (EDPP 2012 - Sandev et al., 2009).

Protože se na území Prahy neuplatňuje návětrný efekt zesílení srážky, jsou nejintenzivní srážky většinou konvekčními srážkami vypadávajícími především z oblaků typu cumulonimbus, ze kterých vznikají přívalové povodně. Typickým příkladem mohou být srážky z 15.8.2010 (Kubát et al., 2010), kdy se nad Bavorskem přesunula z oblasti Beneluxu tlaková níže, která posléze putovala zvolna k severu. Do Čech proudil před studenou frontou teplý a vlhký vzduch s výrazně labilním teplotním zvrstvením, což vedlo k rozvoji silné konvekce. Konveční systém se posléze vyvinul nad středními Čechami a postupoval k severu. Za ním se tvořily další konvekční buňky, které posléze také putovaly stejnou trasou. Tyto konvekční systémy byly příčinou intenzivního krupobití, které ve večerních hodinách zasáhlo Prahu. Při dalším postupu na sever způsobily další přívalové srážky ve středních i severních Čechách. Důsledkem těchto přívalových srážek byly rychlé vzestupy hladin řek Kamenice, Mandavy a jejich přítoků.

Dalším příkladem extrémních konvekčních srážek, které mohou nastat na území Prahy, je ničivá bouře z 25. - 26.5. 1872 (Müller a Kakos, 2004).

Nejobvyklejší povětrnostní situací v období 1961 – 1990 v Praze byla Brázda nízkého tlaku vzduchu (B) s celkovou délkou trvání 1075 dní. Následovala Západní cyklonální situace (Wc) s délkou trvání 1030 dní a Anticyklona nad střední Evropou (A) s délkou trvání 748 dní. Cyklona nad střední Evropou (C) měla délku trvání 352 dní (Beranová a Huth, 2003).

3. Problematika odtoku v urbanizovaném povodí

3.1 Charakteristika odtoku z urbanizovaného prostředí

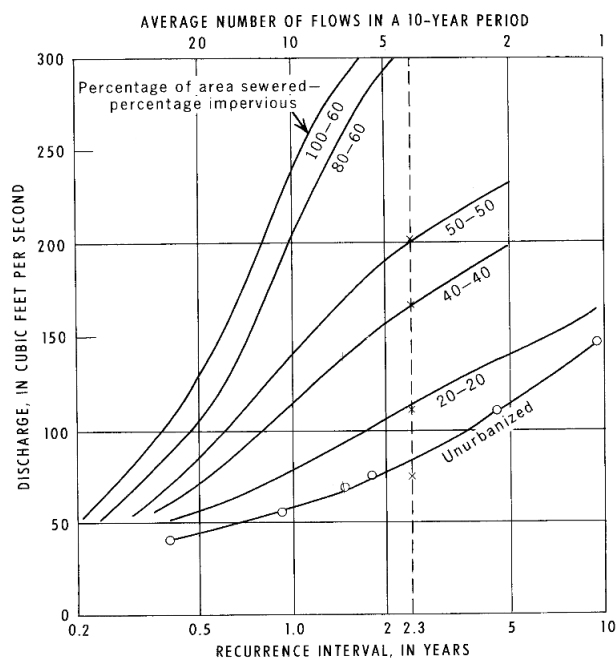
Při změně land use dochází k výrazným změnám hydrologických charakteristik. Jednou z nich je zvýšení kulminačního průtoku a snížení času jeho prodlení. Dále se zvyšuje objem celkového odtoku a snižuje množství infiltrovaných srážek, objem minimálního odtoku, což je výsledkem snížení hladiny podzemní vody. Dochází ke změnám kvality odtékající vody a samozřejmě se také výrazně změní charakteristika odtokové sítě. Urbanizace jako typ změny land use zapříčiňuje změny hydrologických charakteristik zdaleka nejvíce (Leopold, 1968).

Urbanizované oblasti zahrnují velké plochy zpevněného povrchu, jehož podíl kolísá mezi 20 % v rezidenční čtvrti až na 85 % v komerční čtvrti (Dietz a Clausen, 2005). Podle Leopolda (1968) se podíl zpevněného povrchu na celkové ploše zkoumaného území zvyšuje nepřímou úměrou s jeho velikostí. Například ve Philadelphii na ploše o velikosti 0,2 aru dosahuje podíl zpevněných ploch 32 %, zatímco na ploše o velikosti 1,8 aru tvoří zpevněné plochy pouhých 8 % celkového povrchu.

Cesta dešťové vody z povrchu, na který spadne, závisí na míře urbanizace krajiny, tedy nakolik je povrch zastavěn a zpevněn. Na přirozeném zemském povrchu se dle Vítka (2008) na koloběhu srážek podílí výpar 40 %, povrchový odtok 10 %, mělká infiltrace 25 % a hluboká infiltrace také 25 %. Na povrchu s podílem 10 – 20 % zpevněného povrchu tvoří výpar 38 %, povrchový odtok 20 %, mělká infiltrace 21 % a hluboká infiltrace také 21 %. Na povrchu s podílem 35 – 50 % zpevněného povrchu tvoří výpar 35 %, povrchový odtok 30 %, mělká infiltrace 20 % a hluboká infiltrace 15 %. Velké množství měst charakterizuje převaha povrchu s podílem 75 – 100 % zpevněného povrchu, na němž se v koloběhu srážek podílí výpar 30 %, povrchový odtok 55 %, mělká infiltrace 10 % a hluboká 5 % (Vítek, 2008). S těmito hodnotami se zhruba ztotožňuje i studie Paula a Meyera (2001). Podle nich zvýšení podílu zpevněných ploch o 10 – 20 % zvýší celkový odtok dvojnásobně, zvýšení podílu o 35 až 50 % zvýší celkový odtok trojnásobně a zvýšení podílu nepropustných ploch na hodnotu kolem 75 až 100 % zvýší celkový odtok z území až pětinašobně. Kulminace dvouleté povodně roste v urbanizovaných oblastech o 100 – 600 %, kulminace stoleté povodně o 10 – 250 % (Konrad, 2003). Výskyt zcela nejextrémnějších průtoků s nejnižší frekvencí opakování ale není podle Leopolda (1968) úplně znatelně ovlivněn velikostí podílu zpevněných ploch. Poměr velikosti průtoků s nejčastějším opakováním po a před urbanizací je nižší než poměr velikosti průměrných roční průtoků po a před urbanizací. Četnost průtoků s nejčastějším opakováním také klesne, neboť nejnižší průtoky v urbanizovaných oblastech zcela vymizí. Nejsou totiž zásobovány základním odtokem v období

nízkého stavu vody, jak je tomu běžné v povodích s přirozeným přírodním povrchem. Z výše uvedeného tedy vyplývá, že křivky reprezentující odtok z povodí s různým podílem nepropustných ploch v závislosti na frekvenci opakování a velikosti průtoku konvergují při nízkých hodnotách, jak je na obr. 9 ukázáno pro modelové povodí o ploše 1 mil² (Leopold, 1968).

Obr. 9: Funkce velikosti odtoku na době opakování pro území s různou mírou urbanizace

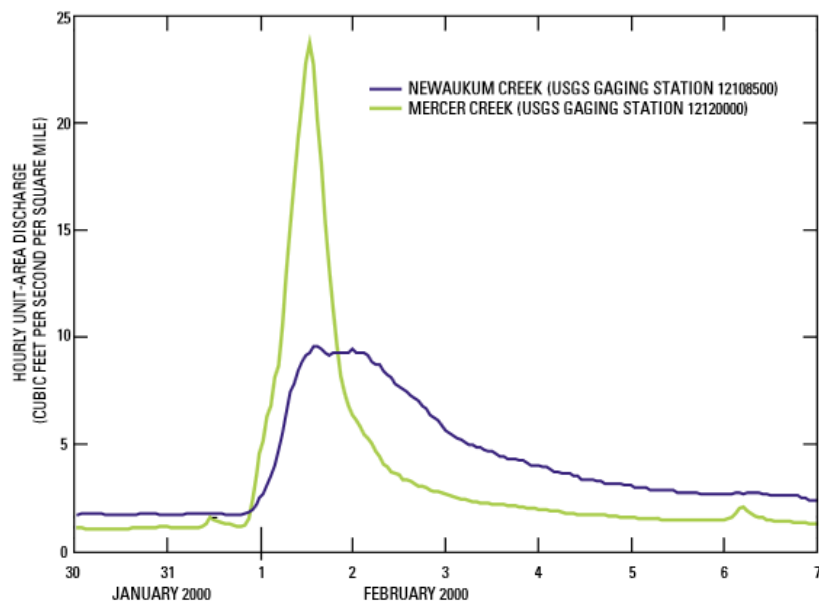


Zdroj: Leopold, 1968

Čas prodlení, časový interval mezi těžištěm srážek a těžištěm odtoku, je v urbanizovaném povodí zkrácen, což má za následek rychlejší kulminaci odtoku. Voda odtéká z ulic, střech a jiných zpevněných povrchů rychleji než z porostů porostlých vegetací. Čas prodlení také zkracují městské kanalizační systémy (Leopold, 1968). V urbanizovaných oblastech lze také často pozorovat zkrácení času odtoku o 28 % - 38 % ve srovnání s přirozenými povrchy (Paul a Meyer, 2001). Příkladem může být 24hodinová srážka v západním Washingtonu dne 1.2.2000 (obr. 10) (Konrad, 2003). Objem odtoku z Newaukum Creek, povodí s přirozeným zemským povrchem byl nižší než v blízkém urbanizovaném povodí Mercer Creek. Obě povodí jsou podobného tvaru, plocha kolem 200 km² (přesná velikost nebyla uvedena) (Konrad a Booth, 2002). Z obr. 10 je zřejmé, že kulminační specifický průtok v Newaukum Creek byl přibližně 10 ft³.s⁻¹.mil⁻¹ oproti kulminačnímu specifickému průtoku 25 ft³.s⁻¹.mil⁻¹ v Mercer Creek.

Hydrografická křivka v Mercer Creek má také v porovnání s Newaukum Creek vyšší koeficient špičatosti (Konrad, 2003).

Obr. 10: Porovnání specifického odtoku na území s přirozeným povrchem (Newaukum Creek) a urbanizovaném území (Mercer Creek)



Zdroj: Konrad, 2003

Odtok srážek z povodí je podle Paula a Meyera (2001) urbanizací ovlivněn více při krátkodobých, často se opakujících srážkách spíše než při dlouhotrvajících srážkách. Je to způsobeno především tím, že při dlouhotrvajících srážkách je půda přirozeného zemského povrchu nasycena, čímž se zvýší přímý povrchový odtok. Toto pravidlo ale neplatí vždy; pokud se zpevněný povrch nachází v nižší části povodí, voda z tohoto území může odtéci rychleji než voda z přirozeného zemského povrchu nalézajícího se ve vyšších částech povodí, což vede k nižšímu kulminačnímu průtoku a prodloužení doby odtoku. Snížit kulminační průtok mohou také ucpané vodní kanály, povrchové deprese apod.

Velikost změny odtoku srážek ze z nepropustného povrchu je větší na malém povodí. Na větším povodí s přírodním zemským povrchem velká část infiltrovaných srážek z výše položených částí povodí níže po proudu doplňuje přímý odtok břehovou infiltrací. Přestože tento efekt není v urbanizovaném území díky nižší infiltraci tak výrazný, zvyšuje hodnoty celkového odtoku i v urbanizovaných povodích (Konrad, 2003).

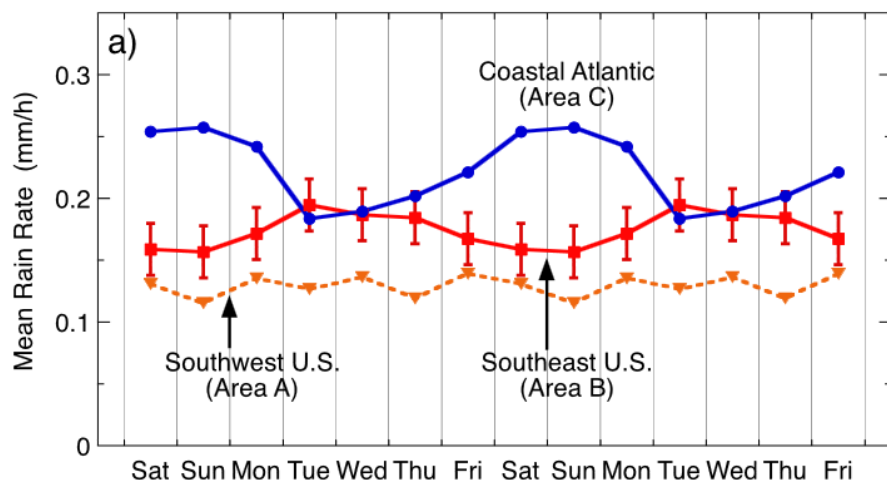
Objem průtoku může být také zvýšen pomocí čističky odpadních vod. Čistička odpadních vod Acheres, která se nalézá 75 km západně od Paříže a sloužící 8,1 mil. lidí zvyšuje objem průtoku v Seině o 40 % během období nízkých průtoků. V jižní části River Platte u Denveru v Coloradu se odtok z čističky odpadních vod podílí v průměru 68 % na celkovém průtoku River Plate, s občasným zvýšením podílu až na 100 % (Paul a Meyer, 2001).

3.2 Změna srážkového režimu v urbanizovaném prostředí

Výsledky vícera studií (Bell et al., 2008 - Cicek a Turkoglu, 2005 - Cervený a Balling, 1998 - Huff a Changnon, 1972 - Jauregui a Romalez, 1996) ukázaly, že urbanizace ovlivňuje množství a především časové rozdělení srážek, a to jak v rámci denní doby, tak i v rámci celého týdne. Nelze však opomenout výsledky studií, které došly k odlišným závěrům (Simmonds a Keay, 1997 - Schultz et al., 2007).

Bell et al. (2008) vyhodnocovali satelitní data zachycující USA v letních měsících červen až srpen během let 1998 – 2005 ve snaze najít známky ovlivnění vzorce srážek lidskou činností. Výsledky studie ukázaly patrný týdenní cyklus srážek s vrcholem intenzity v úterý a ve středu s amplitudou srážek pohybující se kolem 11 % na JV USA, jak je ukázáno na obr. 11. Je z něj patrné, že srážkový režim nad pevninou USA je opačný než nad Atlantským oceánem v blízkosti pobřeží. Nejnížší hodnoty srážek byly naměřeny v neděli. Křivka týdenního rozložení srážek celkem jasně koreluje s křivkou týdenních koncentrací antropogenního atmosférického aerosolu PM_{10} a $PM_{2,5}$. Podle Charona a Harrisona (2005), kteří studovali koncentraci PM_{10} a $PM_{2,5}$ na rušné londýnské dálnici, ovlivňuje jejich koncentraci nejvíce provoz nákladních vozů, který je minimální během víkendů. Látky znečišťující ovzduší mají tendenci potlačit srážky vypadávající z nízké oblačnosti s izotermou vyšší než $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Když se znečištěný oblak vyvine do vyšší výše, díky nižším teplotám atmosféry se uvolní dodatečné latentní teplo, což podpoří další výškový růst mraku. Tento proces oddálí vypadávání srážek z mraku a naopak zapříčiní zachycení většího množství vodní páry, což ve výsledku vede ke konečnému vypadávání silnějších srážek (Rosenfeld, 2007). Bell et al. (2008) se domnívají, že jiné typy lidské činnosti, které neznečišťují přímo ovzduší, nepřispívají prokazatelně ke změně týdenního vzorce srážek. Teplo generované motory automobilů či generované elektrárnami je příliš malé, aby ovlivnilo mezoklima měst. Množství vody použité na umělé zavlažování polí může vykazovat týdenní cyklus, ale zdá se být nepravděpodobné, že by ovlivnilo množství vody v atmosféře natolik, aby to vysvětlilo týdenní cyklus srážek. Během úterý a středy je v porovnání s víkendem také vyšší pravděpodobnost odpoledního deště (Bell et al., 2008).

Obr. 11: Srovnání týdenního rozložení srážek nad USA (možný vliv urbanizace) a Atlantským oceánem v blízkosti pobřeží



Zdroj: Bell et al., 2008

Cervený a Balling (1998) zkoumali týdenní koncentrace CO a O₃ na západním pobřeží USA v souvislosti s týdenním rozložením srážek v letech 1991 – 1995. Nejvyšší koncentrace CO a O₃ byly naměřené koncem týdne v pátek a sobotu, nejnižší v pondělí. Tento cyklus byl s největší pravděpodobností spojen s lidskou činností, neboť žádný známý meteorologický mechanismus nefunguje v týdenním cyklu. Nejvíce srážek vypadávalo v sobotu, nejméně v pondělí, s úhrnem v průměru o 22 % nižším. Podle této studie množství vypadávajících srážek je úzce svázáno s koncentrací CO a O₃, neboť autoři tyto plyny vnímají jako indikátory transportu aerosolového znečištění.

3.3 Změny morfologické sítě urbanizovaného prostředí

Hlavním dopadem urbanizace na morfologii povodí je pozměnění hustoty říční sítě (km. km⁻²). Hustota přírodní říční sítě se v urbanizovaných povodích dramaticky snižuje, neboť menší toky jsou zarovnané, vydlážděny či vyasfaltovány nebo přeloženy do vodních kanálů (Paul a Meyer, 2001). Uměle vytvořené kanály včetně silnic ale mohou zvýšit celkovou hustotu hydrologické sítě. Příkladem může být studie hydrologické sítě řeky South Branch v Iowě (Graf, 1977). Plocha povodí je přibližně 7,7 km², výškový rozdíl mezi nejnižším a nejvyšším bodem povodí přibližně 40 m. Přirozená říční síť je vyvinuta na tillu pokrytém asi 40 cm vrstvou spraše wisconsinského stáří. Průměrné roční srážky činí přibližně 810 mm, průměrná roční teplota se pohybuje kolem 10 °C. Hustota hydrologické sítě se po

urbanizaci zvýšila o 50% ve srovnání s hustotou hydrologické sítě před urbanizací.. Průměrná délka toků 1.řádu (podle Strahlera) klesala s pokračující urbanizací, zatímco průměrná délka toků vyšší řádovosti zůstávala neměnná. Spadlé srážky se tedy mohly rychleji zapojit do pátevní hydrologické sítě. Tvar malých dílčích povodí se přiblížil pravoúhlým čtyřúhelníkům. Změny hydrologické sítě zkrátily čas prodlení a zvýšily koeficient špičatosti hydrogramu (Graf, 1977).

3.4 Eroze v urbanizovaném prostředí

Urbanizace postihuje také erozi břehů a množství vzniklého sedimentu. Podle Wolmana (1967) dosahuje průměrná eroze na plochách s přirozeným povrchem hodnot $5 - 11 \text{ t.mil}^{-2}$, na ploše zemědělského charakteru eroze dosahuje hodnot 233 až 808 t.mil^{-2} , na místě, kde probíhá stavba eroze dosahuje hodnot 2320 až $140000 \text{ t.mil}^{-2}$ a na zastavěném území eroze dosahuje hodnot pouze kolem 54 t.mil^{-2} . Během stavby tedy obnažená půda eroduje 100 až 10000krát více než v lese (Paul a Meyer, 2011), na strmém svahu až 40000krát více a po dokončení stavebních prací se velikost eroze prudce snižuje (Leopold 1968). Chin (2006) uvádí několik příkladů empirických studií: 1) Na Drumaresq Creek, přítoku řeky Armidale v Austrálii o ploše $83,8 \text{ km}^2$ došlo při urbanizaci ke 120násobnému zvýšení odosu [$\text{t.km}^{-2}.\text{rok}^{-1}$]. 2) V Malajsii na Anak Aeyer Batu o ploše $0,063 \text{ km}^2$ došlo ke 20000násobnému zvýšení odosu. 3) V Kanadě na řece Ottawa v Quebecu o ploše $61,8 \text{ km}^2$ došlo k 5násobnému zvýšení odtoku. 4) Ve Spojeném království na povodí Rosebarn v Exeteru o ploše $0,26 \text{ km}^2$ došlo až ke 120násobnému zvýšení odosu. Podle studií (Horton, 1945 - Ghahramani a Ishikawa, 2013) závisí míra eroze více na sklonu svahu než na jeho délce. Strmější svahy je po odlesnění tedy těžší udržet stabilní. Pokud se sklon svahu zvýší z 5 % na 10 %, míra eroze se zvýší o 230 %, zatímco dvojnásobné zvýšení délky svahu zvýší míru eroze pouze o 22 %. Pokud je suché období, koncentrace materiálu odneseném během následujících přívalových srážkách se ještě zvýší. Se zvětšující se velikostí území se koncentrace odneseného sedimentu snižuje, dochází k „rozředění“ sedimentu do více kanálů (Leopold, 1968).

Při porovnávání koncentrace odnesených sedimentů při různých průtocích z urbanizovaného území a neurbanizovaného území s podobnými morfologickými parametry dochází podle Leopolda (1968) k zajímavému paradoxu. Zatímco při nízkých průtocích je koncentrace odnesených sedimentů vyšší z urbanizovaného povodí, při vyšších průtocích je koncentrace odnesených sedimentů z urbanizovaného i neurbanizovaného území srovnatelná. Protože však je na urbanizovaném území častější výskyt vyšších průtoků (a sedimenty jsou často „ředěny“ a koncentrace sedimentů při vysokých

průtocích je proto snížena), je celkový odnos sedimentů u urbanizovaného území vyšší než neurbanizovaného území.

Při přeměně území z území s přirozeným zemským povrchem na území se zpevněným povrchem dochází díky velkým změnám erozní činnosti ke změnám charakteristiky toku odvodňujícího měněné území. Paul a Meyer (2001) rozlišují dvě fáze změn charakteristik toku. a) V první fázi, kdy se odkryje půda a dochází k především ke svahové erozi se sediment ukládá na dně a vznikají agradační valy. Zápavy spojené s agradací mohou snížit zvýšený průtok plynoucí z rostoucího podílu zpevněných ploch zaplavením oblasti kolem řeky, dočasně zmírnit urbanizační dopady na hydrografii. b) Poté, co je stavba dokončena se sníží intenzita svahové eroze a množství přinášeného sedimentu poklesne. Vyšší podíl zpevněných ploch způsobí zvýšení průtoku, dochází k prohlubování a především rozšiřování koryta. Během této fáze dochází k dočasnému zúžení koryta laterálně se ukládajícím materiálem. Zvýšení intenzity dnové a břehové eroze je většinou rychlejší než zvýšení průtoků a díky tomu dochází k častým sesuvům břehů (Gurnell et al., 2007).

Během urbanizace dochází i ke změnám složení sedimentu. Zvýší se odnos hrubějšího materiálu a sníží se koncentrace dřevěné drtě (Gurnell et al., 2007).

Vliv na tvar koryta má i stavba mostů, neboť se pod nimi často prudce zvýší hloubka koryta, což může být překážkou pro migraci ryb (Paul a Meyer, 2001).

3.5 Změna teploty odtoku v urbanizovaném prostředí

Rozvoj městské zástavby též ovlivňuje teplotu vody městských toků. LeBlanc et al. (1997) uveřejnili studii, která se pokoušela ozřejmit mechanismy ovlivnění kritické teploty vody neregulovaných toků změnami land use povodí na začátku července. Kritickou teplotou vody se myslí letní extrémní teploty vody při nízkých průtocích, kdy je biota toku v největším ohrožení. Teoretické výpočty ukázaly, že pokud by se odstranilo 75 % lužní vegetace toku, tak by teplota vody vzrostla nejvíce o 2,5 °C. Při zvětšení šířky koryta ze 4 m na 5,3 m by se teplota vody zvýšila nejvíce o 1,7 °C. Za předpokladu, že na ploše 10 km² povodí Waterloo v Kanadě dojde k 60% zastavění zpevněnými povrchy, by se průměrný průtok zvýšil 1,84násobně, šířka toků 1,36násobně a teplota vody by se zvýšila o téměř 4 °C.

3.6 Kvalita vody v urbanizovaném prostředí

Infrastruktura (silnice, chodníky, rezidenční a obchodní čtvrti, které vznikly během městské výstavby) je navržena tak, aby byla schopna shromáždit a odvést srážky do existujících vodních kanálů, jimiž jsou např. potoky a řeky. Odtékající srážková voda ve městech obsahuje velké množství znečišťujících látek, které mohou ovlivnit kvalitu povrchové, podpovrchové i podzemní vody (Gromaire – Mertz et al., 1999 - Göbel et al., 2007).

Urbanizovaný povrch lze rozdělit podle typu na částečně zpevněné povrchy (dvory, trávníky, porézní povrchy) a zpevněné povrchy (střechy, silnice, chodníky). Jak je uvedeno v práci Göbela et al. (2007), srážková voda obsahuje ionty sulfátů, chloridy, amoniak, nitráty, fosfáty v měřitelných koncentracích. Z oxidů síry, dusíku a chlor ze spalování vznikají kyseliny ovlivňující pH dešťové vody. Během srážkové epizody se pH srážkové vody mění. Hodnota pH srážkové vody roste během prvních 2 mm srážek a poté klesá. Elektrická vodivost, představující celkové množství rozpuštěných iontů, se mění podle stejného vzorce. Díky nízkému pH srážek se těžké kovy jako Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr z elektráren, hutí, cementáren a apod. vyskytují ve srážkové vodě částečně v rozpuštěné formě. Srážková voda obsahuje také znečišťující látky organického charakteru. Listy, ptačí exkrementy, květiny a pyl jsou příklady makrobiologického znečištění, zatímco prachové částice ze spalování fosilních paliv jsou příkladem mikrobiologického znečištění. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), pesticidy a halogenové hydrokarbonáty jsou také zastoupeny. Koncentrace PAU ve srážkových vodách se zvyšuje s intenzitou srážek.

Stejná studie (Göbel et al., 2007) se zabývala i odtokem ze střech. Střechy se liší materiálem, stářím, sklonem, expozicí a polohou. Povrchy nových střech často představují jakýsi „zásobník“ polutantů ze suché atmosférické depozice, které se na ní až do určité koncentrace usazují. Ty se poté během srážek uvolňují a stávají součástí odtékající vody. Množství polutantů v odtékající vodě, stejně tak intenzita zvětrávání polutantů ze střechy závisí na sklonu, expozici a poloze střechy. Ze střechy se korozi uvolňují také těžké kovy, jejich charakter závisí na materiálu použitém na výrobu střechy. Nejčastěji je zastoupen Zn, Cu a Al. Ve středoevropském klimatu je rychlost koroze měděných střech $1,1 \text{ g.m}^{-2}$ za rok, zinkových střech 3 g.m^{-2} za rok. Určité množství korodovaného materiálu ale zůstává na místě ve formě patiny; u zinkových střech je to 30 – 40 %, u měděných střech 75 – 80 % zkorodovaného materiálu. Rychlost koroze, rychlost vzniku patiny a její tloušťka závisí na koncentraci SO_4 v atmosféře, pH deště, sklonu a expozici střechy a kondenzační rychlosti srážek. V současné době rychlost koroze klesá díky snížení koncentrace SO_4 v atmosféře a zvýšení pH srážek. Biochemická

spotřeba kyslíku BSK₅ a chemická spotřeba kyslíku CHSK se zvyšuje s plochou pokrytí střech lišejníkem a mechem. Koncentrace PAU je vyšší než u srážkových vod díky delšímu trvání suché atmosférické depozice.

Z práce Göbela et al. 2007 lze také vyčíst, že charakter a koncentrace znečišťujících látek odtékajících ze zpevněných povrchů (silnice, parkovací plochy) je odvislý od hustoty provozu, rychlosti větru, délky trvání a intenzity srážky, délky trvání suché atmosférické depozice a kvality a stáří povrchu. Pouze 5 – 20 % polutantů původem z dopravy se podílí na samotném odtoku, zbytek je ve formě suspenze nebo aerosolu v těsné blízkosti odtoku. Zdroje znečištění ze silnic a dopravy zahrnují abrazi povrchu, abrazi pneumatik a brzdových destiček, odkapávání různých druhů tekutin z automobilů. Intenzita abraze povrchu závisí na kvalitě a textuře povrchu. Z dvouproudé asfaltové silnice se za jeden rok abrazí uvolní v průměru 10 t.km⁻². Z pneumatik se ročně obrousí z každého tisíce automobilů asi 0,12 kg.km⁻¹. Během chladnější části roku je také typickým polutantem NaCl, např. v Německu se při zimním solení povrchů používá koncentrace NaCl mezi 10 g.m⁻² až 40 g.m⁻². Anorganickými látkami nalézajícími se v odtékající vodě z dopravního provozu jsou K, Ca, Mg, Al, Si, Fe, Mn, Cl, HCO₃, P, N, As, Pb, B, Cd, Cr, Ni, Cu, Ti, V, Zn a Pt, Pd, Rh z katalyzátorů. Největší koncentrace kovů byly nalezeny v částicích o průměru menším než 20 μm. Zdrojem organických látek jsou především automobily. Nejobvyklejšími látkami jsou aromatické a alifatické uhlovodíky, S, O₂ a N z olejů a paliv. PAU z neefektivního spalování je uvolňován do atmosféry v plynné formě a poté deštěm splachován. Emise PAU je nejvyšší u startujících a zrychlujících automobilů.

Podle Göbela et al. 2007 hodnoty elektrické vodivosti kolísají od 28 μS.cm⁻¹ u odtoku ze srážek až na 223 μS.cm⁻¹ u odtoku ze střech až po 2436 μS.cm⁻¹ u odtoku z povrchů s velkou dopravní zátěží. Hodnota pH je silně závislá na typu povrchu. PH z deště kolísá mezi hodnotami 3,9 až 7,5, pH ze silnic mezi 6,4 – 7,9. Koncentrace rozpuštěných pevných látek v dešťové vodě se pohybuje mezi 0,2 mg.l⁻¹ až 52 mg.l⁻¹, zatímco ve vodě odtékající ze silnic výsledkem abraze pneumatik se koncentrace pohybuje od 66 mg.l⁻¹ až 937 2 mg.l⁻¹. Biochemická spotřeba kyslíku BSK₅ kolísá mezi maximálně 2 mg.l⁻¹ u srážkových vod až po 36 mg.l⁻¹ u vod odtékajících ze silnic, podobný trend vykazuje i chemická spotřeba kyslíku CHSK. Koncentrace P a NH₄ je nejvyšší na střechách díky lišejníku, mechu a ptáčím výkalům. Koncentrace dusičnanů je naopak nejvyšší na silnicích. Koncentrace těžkých kovů roste od dešťových srážek přes střechy (s výjimkou zinkových a měděných střech) vodě odtékající ze silnic. Na zinkových a měděných střechách je koncentrace těžkých kovů vyšší než na silnicích.

3.7 Decentralizované odvodnění urbanizovaného prostředí

V kapitole „Charakteristika urbanizovaného prostředí“ byl popsán tzv. konveční odtok. Konvečním odvedením dešťové vody se podle Vítka (2008) myslí vnímání dešťové vody jako problému nutného se co nejrychleji zbavit odvedením dešťové vody ihned po spadnutí do kanálu, řeky či přehrady. Tato snaha si žádá obrovské náklady nutné ke zvětšování koryt řek, dostatečných profilů stok, objemů vodních nádrží v zastavěném urbanizovaném prostředí apod., což je jeden z hlavních důvodů, proč nelze mluvit o konveční odvedení dešťové vody mluvit jako o metodě perspektivní. Proto se zdá být způsob odvodnění městského území podle metodiky konvečního systému odvodnění v současné době již přežit.

Vítek (2008) konstatuje, že přívalovou srážku je vhodné zadržet na místě dopadu, a tím dosáhnout snížení intenzity odtékajících srážek z pozemku, na který tyto srážky dopadly. Tento přístup označuje jako decentralizovaný, protože spadlé srážky se zadrží narozdíl od staršího přístupu (svádění srážek do centralizovaných retenčních nádrží na stokových sítích), na pozemku jednotlivých nemovitostí. Navíc, jsou – li geologické podmínky příznivé, lze v případě decentralizovaného odvodnění spadlé srážky zasakovat do podzemí, a tím doplňovat zdroje podzemních vod. Obvykle však lze srážkovou vodu pouze zachytit a svést do retenčních povrchových depresí a podzemních nádrží ke krátké akumulaci, odkud je do vodoteče svedena kanalizační sítí částečně vyčištěna, s menší energií a zpožděna.

Trendem dnešní doby je stavba tzv. Rain gardens. Rain gardens jsou přírodní nebo umělé deprese navržené k retenci a infiltraci dešťové vody ze střech či jiných zpevněných ploch (např. příjezdová cesta k domu nebo dokonce i zhutnělý trávník). První Rain Gardens napodobovaly přírodní retenční deprese, které byly na místě před započatím urbanizace. Ve vilové čtvrti byla myšlenka Rain Garden prvně použita v roce 1992 v Marylandu ve čtvrti Somerset. Na každém z 200 pozemků o celkové ploše 80 arů byla v nejnižším bodě vytvořena Rain Garden, které nahradily rybníčky, obrubníky, příkopy apod. Po dostavbě Rain Garden se množství odtoku snížilo o 75 – 80 %. (Kassulke, 2003). Rain Gardens jsou osázeny různými stromy, rostlinami k posílení biofiltrace, používají se i speciální filtrační fólie vložené do půdy (University of Rhode Island, 2012).

Podle Vítka (2008) lze Rain Gardens rozdělit podle typu stavby na několik druhů. Zasakovací průlehy se používají na maloplošných pozemcích nebo pozemcích s mělkým profilem půdy. Zasakovací průlehy jsou povrchové deprese s max. výškou vzduť. 30 cm a s plochým dnem. Pokud je velikost pozemku příliš malá i pro výstavbu zasakovacích průlehů, používají se tzv. retenční příkopy s drenáží nebo zasakovací šachty. Dešťová voda je drenáží svedena skrz jemný filtr do retenčního příkopu

vyplněném štěrku nebo jiným materiálem s velkým objemem mezer mezi zrny, kde se voda v závislosti na propustnosti okolní půdy postupně vsakuje do podloží. Zasakovací šachty fungují na podobném principu jako retenční příkopy, mají ale menší plochu hladiny a vyšší mocnost filtračního materiálu. Všechny typy retenčních systémů lze samozřejmě libovolně kombinovat.

Dietz a Clausen (2005) studovali změnu odtoku a jeho charakteristik z území v Haddamu v Connecticutu na místě dvou Rain Gardens, které byly postaveny v roce 2002. Každá z Rain Gardens měla plochu okolo 12 m² a hloubku 0,6 m. Po dostavbě 92,8 % odtoku bylo ve formě podpovrchového odtoku. Kvalita vody se ale příliš nezlepšila, bylo zaznamenáno pouze snížení koncentrací NH₃ – N.

Častá je stavba suchých poldrů, což jsou nádrže bez vody, jejichž hlavní funkcí je ochrana před vlivem povodní a snížení N – letých průtoků (Vítek, 2008).

Dešťovou vodu lze také zadržet na tzv. zelených střechách. Zelené střechy mají dlouhou tradici. Jeden ze starověkých divů světa byly visuté střechy Semiramidiny. Jedním z prvních příkladů moderní zelené střechy může být budova Ministerstva Kultury v Rio de Janeiru, postavena ve 40. letech 20. stol.. Moderní zelené střechy mají tenkou, asi 10 cm mocnou vrstvu půdy. Zelené střechy kromě prvních let nepotřebují prakticky žádnou údržbu. Je ale nutný pečlivý výběr rostlin spíše suchomilného charakteru. Výhodou zelených střech je dlouhá životnost, nový habitat pro ptáky, kteří by jinak těžko hledali ve městě místo ke hnízdění (Köhler et al., 2001). Zelené střechy mají schopnost termoregulace. Liu a Baskaran (2003) na experimentální zelené střeše o ploše 72 m² v Ottavě prokázal, že zelená střecha může výrazně snížit letní teplotu v budově. Zatímco pod běžnou střechou teploty běžně přesahovaly 70 °C, teplota pod střechou zřídka přesáhla 30 °C. Pod normální střechou dosahovala teplotní rozkolísanost během dne až 45 °C, pod zelenou střechou pouze 6 °C. Koeficient odtoku ze střechy o ploše 360 m² kulturního střediska UFA – Fabrik v Berlíně měl v roce 1998 průměrnou hodnotu 0,5. Nejvyšší hodnoty 0,99 dosáhnul v lednu, nejnižší hodnoty 0,02 v květnu (Köhler et al., 2001).

3.8 Teorie tvorby odtoku

Odtok z příčinných srážek lze rozdělit na povrchový, podpovrchový a základní odtok. Povrchovým a podpovrchovým odtokem chápeme přímý odtok. Podpovrchový odtok se dále dělí na odtok v nenasycené zóně půdního profilu a na odtok v nasycené zóně vodního profilu. Odtok v nasycené části půdního profilu a zpožděný odtok v nenasycené části půdního profilu tvoří základní odtok, kdežto rychlý odtok v nenasycené části půdního profilu se exfiltrací podílí na přímém odtoku (Beven, 2002).

Povrchovým odtokem chápeme vodu plošně odtékající z povrchu, jedná se nejrychlejší část odtoku. Teorií vzniku povrchového odtoku je více. Nejjednodušší metodou stanovení objemu povrchového odtoku je metoda tzv. Φ indexu. Tato metoda předpokládá konstantní infiltrační rychlost vody. Φ index představuje vodorovnou mez rozdělující hyetogram na dvě části. Spodní plocha hyetogramu představuje infiltrované srážky, horní část hyetogramu efektivní srážky (Beven, 2002).

Asi nejznámější je teorie hortonovského odtoku (Horton, 1933). Horton předpokládá, že na celém povodí se během deště tvoří tzv. povrchový ron, což je nesoustředěné stékání vody ze svahu. K hortonovskému odtoku začne docházet v okamžiku překročení infiltrační kapacity půdy. Infiltrační kapacita půdy závisí především na maximální a konečné infiltrační rychlosti půdy. Maximální infiltrační rychlost nastává na začátku deště. Její hodnota poté díky změnám v struktuře půdy a zvýšení její povrchové vlhkosti prudce klesá a následně se zvolna blíží k hodnotě konečné infiltrační rychlosti. Konečná rychlost infiltrace půdy se přibližuje rychlosti perkolace a je omezena propustností nejhůře propustného půdního horizontu. Teorie hortonovského odtoku byla využita např. v práci Battanyho a Grismera (2000), pro svojí jednoduchost je využita i v této práci.

Z teorie hortonovského odtoku vychází další model, který navrhl Betson (1964). Betson rozlišuje mezi maximální a počáteční infiltrační rychlostí. Maximální infiltrační rychlost je infiltrační rychlostí suché půdy, počáteční infiltrační rychlost je infiltrační rychlostí půdy na začátku deště, který může následovat krátce po předchozí srážkové epizodě. Počáteční infiltrační rychlost může tedy být mnohem nižší než maximální infiltrační rychlost. Velikost infiltrovaného vodního sloupce L je definována jako

$$L = \int_{f(sm)}^{D+f(sm)} (c + be^{-nT}) dT, \quad (1)$$

kde D je doba trvání deště [hod],

T je doba od počátku deště [hod],

$f(sm)$ je funkce půdní vlhkosti, $0 \leq f(sm) \leq 1$,

c, b, n jsou pomocní součinitelé

Především pro výpočet přímého odtoku na půdách s vysokými rychlostmi infiltrace je využívána teorie Dunneho odtoku (Dunne a Black, 1970). Přímý odtok nastává při překročení maximální retenční kapacity půdy. Při přímém odtoku často dochází k exfiltraci vody v nižších částech svahu.

V poslední době se začíná pro výpočet infiltrační rychlosti znovu více používat Greenův – Amptonův model (Green a Ampt, 1911). Jeho výhodou je jednoduchost a skutečnost, že některé parametry modelu jsou odvozeny z Darcyho zákona, tj. není jen empiricky odvozený a parametry rovnice lze vyvodit z charakteru půdy. Tento model byl použit s dobrými výsledky u profilů, kde se hydraulická vodivost zvyšuje s hloubkou, u půd s nejednotným nasycením vodou před začátkem srážek (v profilu i na ploše), a půd s nestandardním nebo nepravidelným zvrstvením profilu. Greenův – Amptonův model zanedbává hydraulický gradient Darcyho zákona (matematický vztah definující rychlost průtoku kapaliny pevným porézním tělesem) a řeší pouze vertikální pohyb infiltrované vody, který vytváří kolmý kolmý píستový tok. Infiltrační rychlost f_p je

$$f_p = K_s (H + S_f + L) / L \quad (2)$$

kde L je hloubka od povrchu na rozhraní vlhké a suché půdy,

H je mocnost vodního sloupce na povrchu,

K_s je hydraulický gradient,

S_f je sací tlaková výška.

Velmi časté je použití SCS – CN metody, která byla vytvořena v Soil Conservation Service (SCS) (dnes Natural Resources Conservation Service) (SCS, 1972) k výpočtu odtoku ze zemědělských půd v USA. Pro odvození CN čísla byly půdy podle infiltrační rychlosti do čtyř základních kategorií. Vlastní CN číslo se přiřazuje podle typu povrchu, stavu „land use“, typu vegetačního krytu apod. Hodnota CN čísla kolísá mezi $CN = 0$ pro zcela propustný povrch (ale v praxi přibližně od hodnoty $CN = 30$) až po hodnotu $CN = 100$ pro zcela nepropustný povrch. Rovnice pro výšku odtoku Q má tvar:

$$Q = (P - 0,2S)^2 / (P + 0,8S) \quad (3)$$

kde P je výška srážek,

S je maximální potenciální retence půdy závisající na hodnotě CN čísla:

$$CN = 1000 / 10 + S. \quad (4)$$

Metodu SCS – CN využil ve své práci např. Unucka et al. (2010), který porovnává výsledky získané pomocí metody SCS – CN s výsledky získané Greenovou – Amptonovou metodou. Metoda SCS – CN je využita také v této práci.

3.9 Teorie separace hydrogramu

Přímý odtok je pouze jednou ze složek odtoku. Jeho další složkou je pomalý, málo proměnný, ale v našich klimatických podmínkách neustále přítomný základní odtok. Při výpočtu hydrogramu je nutné tyto dvě základní části odtoku navzájem oddělit.

Nejjednodušší, ale pouze přibližným způsobem oddělení je metoda tzv. lineární separace. Metoda lineární separace předpokládá, že základní odtok lze považovat za rovnoměrný, neboť přírůstek základního odtoku z příčinných srážek je ve srovnání s povrchovým odtokem zanedbatelný (Dingman, 2002). Metoda byla užita např. k výpočtu základního odtoku vybraných novozélandských řek (Waugh, 1970).

Mnohem přesnější jsou metody pokračující výtokové čáry. Dingman (2002) popisuje dvě nejčastěji používané metody tohoto typu.

1. Takzvaná RC (Recession Curve) metoda předpokládá, že pokles základního odtoku pokračuje až do okamžiku vrcholu povodňové vlny, poté roste a protíná křivku povodňové vlny N dní po vrcholu povodňové vlny podle vzorce

$$N = 0,827 \times A^2 \quad (5)$$

kde A je plocha povodí [km^2].

2. Metoda CS (Constant Slope) předpokládá, že spolu s růstem povodňové vlny roste i velikost základního odtoku. Základní odtok roste rovnoměrně podle vztahu

$$f(cs) = 1,415 \times 10^{-3} \times 2,59^{-1} \times A \text{ [m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^2 \text{ hod}^{-1}\text{]}. \quad (6)$$

Růst základního odtoku začíná v bodě růstu povodňové křivky a končí v průsečíku povodňové křivky a křivky základního odtoku.

Všechny výše popsané metody se řadí mezi tzv. grafické metody. Mezi další způsoby separace základního odtoku patří např. použití digitálního filtru. Po vytvoření algoritmu filtru lze v návaznosti na tvar hydrogramu vyhodnocovat podíl základního odtoku. Hlavní výhodou metody digitálního filtru je jednoduchá automatizace výpočtu. Jednoduchý algoritmus s jedním parametrem vytvořil např. Eckhardt (2005).

V této práci bylo rozhodnuto hydrogram neseparovat, neboť příčinný odtok ze zájmových území byl velmi krátký a velikost základního odtoku v něm dosahuje pravděpodobně pouze zanedbatelných hodnot.

3.10 Srážko – odtokové modely

Změna průtoku je oproti příčinné srážce zpožděna o dobu, po kterou voda v povodí proudí k závěrovému profilu. Transformaci srážky na odtok z povodí řeší teorie tzv. jednotkového hydrogramu (UH). Pojem jednotkového hydrogramu byl zaveden v roce 1932 Shermanem. Jednotkový hydrogram je hypotetická odezva povodí na danou efektivní srážku o jednotkové délce trvání, pro srážku dané délky trvání vždy stejnou. Předpokládá se, že jednotková efektivní srážka je homogenní v prostoru a intenzitě (Gupta, 2001). Tento předpoklad je ve skutečnosti splněn jen výjimečně, a proto byly vyvinuty syntetické UH. Známé jsou např. Snyderův UH (Snyder, 1938), SCS UH (SCS, 1972), Nashův UH (Nash, 1959) a Clarkův UH (USDA, 2013).

Metoda SCS UH byla použita např. pro výpočet délky trvání a velikosti kulminačního průtoku přívalových povodní v šesti urbanizovaných povodích v Mekkah, v Saudské Arábii (Dawod a Koshak, 2011). V Katalánsku (Amengual a Romero, 2006) byl programem HEC – HMS a při užití SCS UH kalibrován srážkoodtokový model pro povodí Llolebrat a poté zpětně simulována povodeň na tomto povodí.

Pro výpočet Clarkova UH je nutná znalost doby koncentrace povodí T_c , hodnoty retenční konstanty povodí R_c a kumulativní křivky velikosti plochy povodí podílející se na odtoku ze závěrového profilu v závislosti na čase. Pro výpočet hodnoty T_c existuje více metod (USDA, 2013). Metoda Clarkova UH byla použita v této práci.

Clarkova UH metoda byla užita též pro výpočet odtoku z povodí řeky Kardeh v íránské provincii Khorasan (Noorbakhsh et al., 2005). Unucka (2008) simuloval na povodí Olše vliv krajinného pokryvu na odezvu povodí, přičemž pro výpočet infiltrace byla použita Hortonova metoda a metoda SCS - CN, pro výpočet hydrogramu metoda Clarkova UH.

3.11 Právní rámec odtoku

V České republice se v urbanizovaném prostředí pro dimenzování vsakovacího zařízení používá od 1.1.2012 norma ČSN 75 9010. Při výpočtu se počítá s možností přetečení (ČSN 75 9010). Tato norma je užita v této práci a bude podrobněji popsána dále.

Povrchové vody vymezuje zákon č. 254/2001 Sb. v § 2, odst. 1 takto: „Povrchovými vodami jsou vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu, tento charakter neztrácejí, protékají-li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních.“

Odtékající voda z povrchu je ve městech v největší míře odváděna stokovými sítěmi. Problematiku stokové sítě řeší zákon č. 274/2001 Sb. „o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)“. Tento zákon se dle § 1, odst. 3 nevztahuje na vodovody a kanalizace, „u nichž je průměrná denní produkce nižší než 10 m^3 nebo je-li počet fyzických osob trvale využívajících vodovod nebo kanalizaci nižší než 50, na vodovody sloužící k trvalému rozvodu jiné než pitné vody a na oddílné kanalizace sloužící k odvádění povrchových vod vniklých odtokem srážkových vod.“ Podle tohoto zákona, § 12, odst. 1 „kanalizace musí být navrženy tak, aby negativně neovlivňovaly životní prostředí, aby byla zabezpečena dostatečná kapacita pro odvádění a čištění odpadních vod z odkanalizovaného území [...]. Současně musí být zajištěno, aby bylo omezováno znečišťování recipientů způsobované dešťovými přívaly.“ Dle § 18, odst. 1 je odvedení odpadních vod z pozemku nebo stavby splněno okamžikem vtoku odpadních vod z kanalizační přípojky do kanalizace. Dle § 20, odst. 6 „povinnost platit za odvádění srážkových vod do kanalizace pro veřejnou potřebu se nevztahuje na plochy dálnic, silnic, místních komunikací a účelových komunikací veřejně přístupných, plochy drah celostátních a regionálních včetně pevných zařízení potřebných pro přímé zajištění bezpečnosti a plynulosti drážní dopravy, zoologické zahrady a plochy nemovitostí určených k trvalému bydlení a na domácnosti.“

Vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon 274/2001 Sb. v § 31, odst. 1 obsahuje: „Množství srážkových vod odváděných do kanalizace bez měření se vypočte podle vzorce uvedeného v příloze č. 16 na základě dlouhodobého úhrnu srážek v oblasti, ze které jsou srážkové vody odváděny do kanalizace [...]“. V příloze 16 je uvedeno, že roční množství srážkových vod $Q [\text{m}^3]$ je rovno součtu redukovanych ploch $[\text{m}^2]$ krát dlouhodobý srážkový úhrn $[\text{m.rok}^{-1}]$.

Hlavním úkolem dimenzování stokové sítě je podle Šifaldy (1995) prokázat, „že předem zvolená četnost přehlcení nebude překročena. Z tohoto předpokladu současně vyplývá, že ve stokové síti smí v mezním případě dojít k vrcholovému plnění, jestliže se vyskytne jakýkoliv dešť o předem dané frekvenci výskytu. Znamená to tedy, že frekvence výskytu návrhových srážek a frekvence zaplnění stokové sítě jsou shodné. Jestliže tato shoda není splněna, je to způsobeno nedostatečnou výstižností výpočtové metody nebo nepřesností vložených vstupních údajů. Vrcholové plnění stoky závisí na maximálním možném průtoku a kapacitě stokového systému.“

3.12 Hyetogramy

Plánování a kontrola odtokové sítě ve městě si žádá užití návrhových srážkových modelů ke správnému vyhodnocení srážkových událostí, které se vyskytují nad zkoumaným územím. Nejobvyklejší praktikou je vytvoření tzv. návrhového hyetogramu, což je časové rozložení N – letých srážek do kratších kroků. Intenzita N – letých srážek je odvozena z IDF křivek pro dané území.

IDF (Intenzity – duration – function) křivky jsou jedním z nejčastěji využívaných nástrojů v inženýrské hydrologii a jsou využívány při plánování a navrhování ochrany rozličných inženýrských projektů před povodněmi apod. (Sivapalan a Blöschl, 1998 – Koutsoyiannis et al., 1998). IDF křivka je funkcí intenzity srážek v , délky jejich trvání t a pravděpodobnosti jejich každoročního opakování N (Koutsoyiannis et al., 1998), vytvořená statistickým zpracováním dešťoměrných pozorování. Jejím užitím lze relativně snadno určit intenzitu srážek pro určitou délku trvání srážky. Konstrukce IDF křivek sestává ze tří kroků. V prvním kroku se určí hodnoty intenzity v srážky pro (předem zadané) časové intervaly t_j . Ve druhém kroku se hodnoty intenzity srážek příslušející jednotlivým časovým intervalům t_j rozřídí podle pravděpodobnosti jejich opakování N , tj. na 1 – leté, 5 – leté, 10 – leté srážky atd. Posledním třetím krokem je vytvoření samotných IDF křivek, což lze provést dvěma způsoby. Buď je intenzita v srážek pro každou pravděpodobnost jejich opakování N určena zvlášť a platí $v = v_N(t)$, nebo je intenzita v funkcí délky zadaných časových intervalů t i pravděpodobnosti N , $v = v(N, t)$ (Koutsoyiannis et al., 1998).

Obvyklý model užívaný pro tvorbu IDF křivek v sobě zahrnuje empirické předpoklady, což se neslučuje s požadavkem na teoretickou odvoditelnost a tato teorie je proto rigorózní. Výsledky tohoto přístupu nejsou občas zcela consistentní s teoretickými výsledky. Koutsoyiannis et al. (1998) se pokoušeli zformulovat nový teoretický postup, jehož výsledky by byly lépe porovnatelné s výsledky empirického postupu. Použitelnost tohoto nového postupu se ověřovala v regionu Sterea Hellas o ploše 25000 km² v centrálním Řecku na 13 stanicích, které měřily množství srážek v intervalu 1 hod. Nový postup dobře postihoval geografickou variabilitu IDF křivek jednotlivých stanic. Bylo ho také možné užít pro stanice s delšími či chybějícími intervaly měření množství srážek.

Výše popsaná konstrukce IDF křivky je vhodná k určení intenzity srážek v určitém bodě. V praxi jsou ale nejvíce užívány IDF křivky pro určité povodí. Nejužívanějším postupem při konstrukci IDF křivek pro určité povodí je užití interpolací, které jsou empiricky odvozené, funkcemi plochy povodí, délky trvání srážek a někdy i pravděpodobnosti opakování srážek. Body IDF křivky pro povodí jsou součinem v jednom bodě naměřené intenzity i srážek a hodnotami získanými interpolací. Pro velmi

malá povodí je výsledek interpolace zpravidla rovný jedné (což platí i pro tuto práci), a IDF křivka pro povodí je totožná s IDF křivkou pro bod, ve kterém probíhalo měření intenzity srážek.

Se vzrůstající velikostí povodí se ale rozdíl mezi oběma IDF křivkami zvětšuje, hodnota střední a směrodatné odchylky IDF křivky pro povodí se snižuje. Snížení je největší pro srážky krátkého trvání. Sivapalan a Blöschl (1998) zmiňují dva nejčastěji používané postupy interpolace:

- a) První užívá metodu Thiessenových polygonů.
- b) Druhá je poměr váhy průměrné srážky v závislosti na ploše (stanovená isohyetami deště) a maximální intenzity srážky.

Prodanovic a Simanovic (2004) vyhodnocovali vhodnost použití různých typů hyetogramů pro vyhodnocení hydrologických rizik a extrémů v horní části povodí Temže. Vyhodnocované hyetogramy rozdělili do tří skupin podle způsobu jejich vytvoření.

První skupina obsahuje hyetogramy vycházející pouze z jedné hodnoty IDF křivky. Při konstruování těchto hyetogramů je potřeba znalost pravděpodobnosti jejich každoročního opakování N , délka trvání srážky t_d a průměrná intenzita srážky odvozená z IDF křivky v . Patří sem např. „0“ hyetogram, tedy hyetogram s konstantní intenzitou srážek během zkoumaného časového období (Alfieri et al., 2007). Dále lze dle Prodanovice a Simanovice (2004) do této skupiny zařadit hyetogram trojúhelníkového tvaru vyvinutý v roce 1980, jehož autory jsou Yen a Chow (1980). Základními parametry tohoto hyetogramu jsou pravděpodobnost N každoročního opakování srážky, délka trvání srážky t_c , průměrná intenzita srážky v a parametr r , což je podíl mezi časem maximální intenzity srážky a celkové délce trvání srážky. Celkové množství srážek je $P = t_c \cdot v$. Základna trojúhelníkového hyetogramu t_c a výška v_p jsou zvoleny tak, aby celkovému množství srážek odpovídala velikost plochy pod hyetogramem (Prodanovic a Simanovic, 2004).

Další skupinou hyetogramů jsou hyetogramy vycházející z celé IDF křivky. Patří sem např. Chicago hyetogram. Chicago hyetogram je navržen tak, aby intenzita srážky jakéhokoli časového intervalu uvnitř celkové délky trvání srážky byla shodná s IDF křivkou (Keifer a Chu, 1957). Třetí skupinou hyetogramů jsou dle Prodanovice a Simanovice (2004) hyetogramy vycházející z jednoduchých nebo podvojných součtových čar srážek, přičemž svislá osa představuje součtovou hodnotu srážek a vodorovná jednoduchou nebo součtovou hodnotu délky srážky. Lze do ní zařadit Huffův hyetogram, který při konstrukci využívá podvojných součtových čar (Prodanovic a Simanovic, 2004). Huffova metoda (Huff, 1967 – Huff, 1990) vznikla při zpracování průběhu 261 srážkových událostí mezi lety 1955 – 1966 na ploše 400 čtverečních mil v Illinois v USA. Jednotlivé srážkové události předcházely

nebo následovaly další srážkovou událost minimálně o 6 hodin. Délka trvání zkoumaných srážkových událostí se pohybovala v rozmezí $(1 \div 48)$ hod. 42 % zkoumaných srážkových událostí mělo délku trvání kratší než 12 hod, 33 % mělo délku trvání v rozmezí $(12,1 \div 24)$ hod a 25 % mělo délku trvání delší než 24 hod. V Huffově metodě jsou rozlišeny čtyři typy podvojných součtových čar a každá z nich vyjadřuje vrchol srážkové intenzity v jiné čtvrtině doby trvání srážek. 33 % srážkových událostí mělo vrchol srážkové intenzity během prvním kvartálu, 33 % během druhého kvartálu, 23 % během třetího kvartálu a 11 % během čtvrtého kvartálu. Mezi časovým umístěním vrcholu intenzity srážek a plochou, na kterou srážky spadly nebyla prokázána žádná souvislost.

Prodanovic a Simanovic (2004) srovnávají Yenův a Chowův popis s Huffovou metodou na výsledcích získaných pro horní část povodí Temže. Yenův a Chowův popis se jeví jako nejvhodnější u srážkových událostí s maximální délkou trvání 6 hod. Huffova metoda je nejvhodnější pro srážky nižší intenzity a delšího trvání. Závěrem však konstatují, že žádná ze zkoumaných metod není výrazně nevhodná.

Pro ČR byly v ČHMÚ navrženy hyetogramy pro 24hodinové návrhové 100leté srážky, a to jak pro reálné oblasti, tak i pro oblasti synteticky vytvořené. Pro reálné oblasti byla maximální hodinová srážka P_{1hmax} umístěna do 12. hod v pořadí a vypočítána podle rovnice (Kulasová, 2004):

$$P_{1hmax} = P_{N1dr} \times k_{1h} \times P_{N1h} / P_{N1d} \quad (7)$$

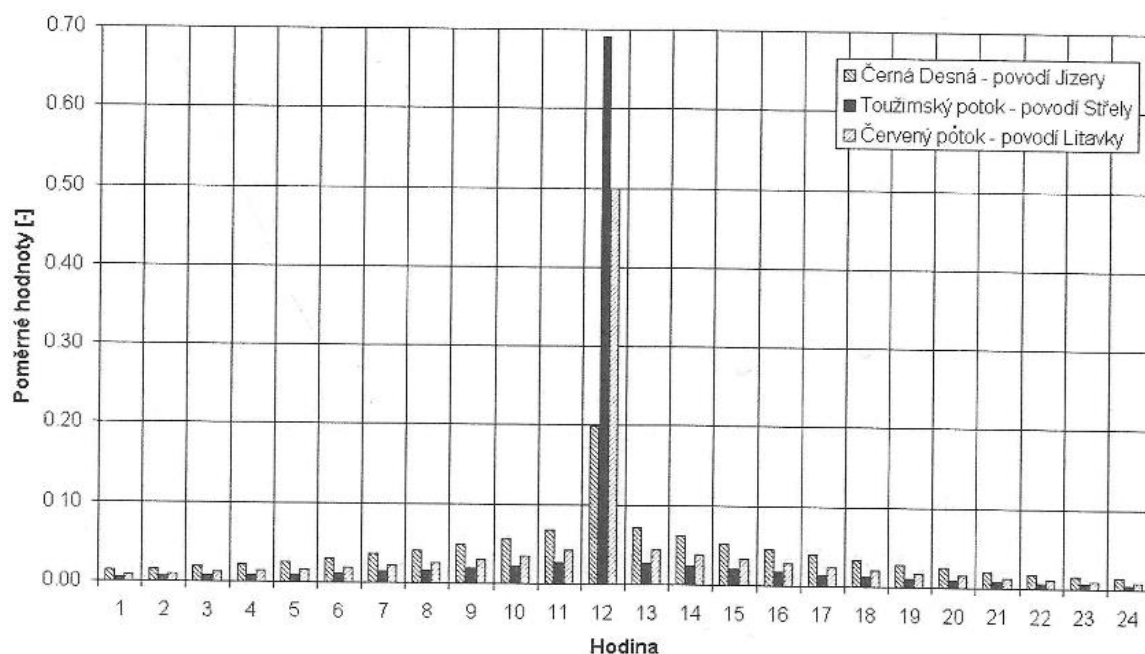
kde P_{N1dr} je N – letá plošně redukováná 1 - denní srážka,

k_{1h} je koeficient plošné redukce pro trvání srážky 1 hod,

P_{N1h} je N – letá plošně redukováná 1 – hodinová srážka

Rovnice (7) byla užita k výpočtu návrhových hyetogramů pro povodí Černé Jizery, které představuje klima horské oblasti s výrazným podílem orograficky zesílených srážek, dále pro relativně suchou oblast povodí Toužimského potoka v horní části povodí Střely a pro povodí Červeného potoka v povodí Litavky, které představuje vlhčí oblasti pahorkatin. Největší vliv na charakter 24hodinových 100letých srážek budou mít v horských oblastech orograficky zesílené srážky delšího trvání, kdežto v nížinách spíše přívalové srážky s krátkým trváním (Kulasová, 2004). Jednotlivé návrhové hyetogramy jsou zobrazeny na obr. 12.

Obr. 12. Návrhové hyetogramy pro 24hodinové 100leté srážky



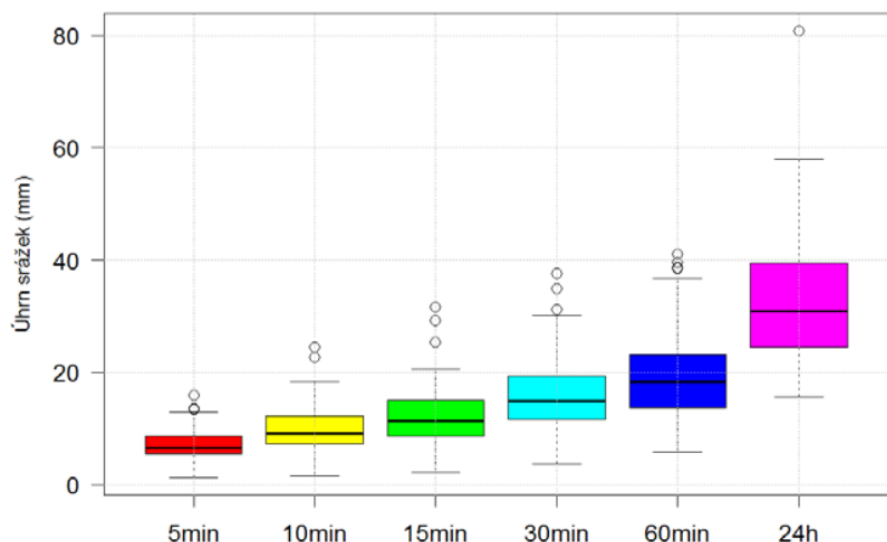
Zdroj: Kulasová, 2004

Poté byly navrženy 24hodinové návrhové hyetogramy pro 100leté srážky pro čtyři navržené klimatické oblasti A, B1, B2, C. Hyetogramy byly navrženy pro povodí s velikosti plochy 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 a 512 km². Oblast A představuje klimatickou oblast s denním úhrnem 100letých srážek vyšší než 150 mm. Oblast B1 představuje klimatickou oblast s denním úhrnem 100letých srážek mezi 100 - 150 mm. Oblast B2 klimatickou oblast s denním úhrnem 100letých srážek mezi 90 – 100 mm. Oblast C klimatickou oblast s denním úhrnem 100letých srážek nižším než 90 mm (Kulasová, 2004). Na hodnotu 100letých srážek v oblasti A mají dominantní vliv orograficky zesílené srážky, v oblasti B1 také převažuje vliv orograficky zesílených srážek kdežto v oblasti B2 převažuje vliv konvektivních srážek a v oblasti C mají orograficky zesílené srážky dominantní vliv. Největší plošné zastoupení na území Česka má klimatická oblast C, která zahrnuje níže položené oblasti (Kulasová, 2004).

Michálek et al. (2012) se zabývali srovnáním statistických metod odhadů IDF křivek krátkodobých (5min až 360min) srážek vytvořených na základě kontinuálního měření srážek na šesti stanicích v jihomoravském kraji. Kontinuální měření srážek probíhalo na těchto stanicích po dobu 11 až 41 let. I přesto, že jednotlivé stanice od sebe nebyly příliš vzdáleny, průběh jednotlivých IDF křivek se od sebe značně lišil, což lze vysvětlit rozdílnými geografickými a klimatickými faktory, v některých případech i krátkou řadou změřených srážkových úhrnů.

Analýzou intenzity krátkodobých srážkových úhrnů v Brně se zabývali Prax et al. (2010). Na obr. 13 jsou zobrazeny roční maxima krátkodobých srážek (a jejich průměr) v letech 1948 – 2010 na stanici Brno – Tuřany.

Obr. 13: Roční maxima krátkodobých srážek a jejich průměr v letech 1948 – 2010, stanice Brno Tuřany



Zdroj: Prax et al., 2010

Navrhování stokových sítí si dnes žádá stále přesnější podklady. Proto byl Praxem (1999) pro město Brno navržen katalog návrhových dešťů. Bylo vygenerováno 16 hyetogramů podle délky trvání srážek a množství spadlých srážek. Nejvíce srážkových epizod (417 zaznamenaných) bylo délky trvání 0 – 15 min, přičemž při nich spadlo méně než 2,7 mm srážek. Hyetogram pro tento typ srážkové události má výrazný vrchol ve třetím kvartálu. Druhým nejpočetnějším typem srážek (176 zaznamenaných) byla srážka s dobou trvání mezi 15 – 30 min a množstvím srážek také pod 2,7 mm. Hyetogram má výrazný vrchol v prvním kvartálu. Ve sledovaném období 1929 – 1999 nebyla zaznamenána žádná srážková událost o době kratší než 60 min s celkovým úhrnem srážek 20 – 40 mm. Hyetogramy pro tento typ srážek byly zařazeny jen pro úplnost.

4. Metodika práce

4.1 Tvorba návrhových srážek

K vytvoření návrhových hyetogramů pro vybraná zájmová území byly užity návrhové úhrny srážek v ČR s dobou opakování 5 let a 10 let vytvořené pro potřeby normy ČSN 75 9010. Zkoumány jsou srážky trvající 5min až 4320 min (72 hod), tedy celkem 17 různě dlouhých průběhů srážek.

K rozšíření souboru hodnotitelných srážek byly podle obecného Němcova vzorce (Němec, 1964) vytvořeny též návrhové srážky s dobou opakování 100 let, jež norma ČSN 75 9010 neobsahuje. Platí

$$hS = (a \log t + b)N^n \quad (8)$$

kde hS je výška srážky (mm)

t je doba trvání srážky (min)

N je počet let, po kterých se v dlouhodobém průměru intenzita opakuje (např. v případě 100leté srážky $N = 100$)

a , b , n jsou parametry pro jednotlivé srážkoměrné stanice, v této práci byly použity hodnoty uvedené pro stanici Praha – Podbaba; $a = 11,7$, $b = -1,2$, $c = 0,22$ (Němec, 1964).

Rovnici (8) lze bez zatížení větší relativní chybou užít k výpočtům úhrnů srážek s délkou až 600 min a orientačně k výpočtům úhrnů srážek s délkou 1440 min (24 hod). K výpočtům v této práci byly použity pouze odvozené úhrny srážek s délkou trvání 5 min, 10 min, 60 min, 360 min a 1440 min.

Základním podkladovým materiálem pro odvození návrhových maximálních teoretických úhrnů srážek byla data zveřejněná v Met Office (2013) pro území Spojeného Království Velké Británie a Severního Irska a nejvyšší naměřené hodnoty srážkových úhrnů za 24 hod, 48 hod a 72 hod na území Česka (ČHMÚ, 2013 B).

Hodnota rekordního světového srážkového úhrnu 126 mm naměřená v bavorském Füssenu během 8 min trvající srážkové epizody (NOAA, 2013) nebyla pro svou výjimečnou velikost do výpočtů zahrnuta (Nejvyšší hodnota 10 min trvající srážky v Evropě byla naměřena ve Švýcarsku, srážkový úhrn byl 50 mm (Merz et al., 2006). Srážkový úhrn 126 mm za 8 min zjištěný ve Füssenu nepřekračuje ani nejvyšší naměřený úhrn srážek za 90 min v UK - 117 mm (Met Office, 2013).)

Aproximací zjištěných maximálních úhrnů srážek byly doplněny zbylé hodnoty. Ke zpřesnění aproximace byly pro výpočet úhrnu srážek trvání kratšího než 60 min a trvání delšího než 60 min užity rozdílné funkce.

Pro úhrny srážek trvání kratšího než 60 min byla užitá aproximace funkcí

$$y = 27,557 \ln x - 13,478, \quad R^2 = 0,974 \quad (9)$$

pro úhrny srážek trvání delšího než 60 min byla použita aproximace funkcí

$$y = 94,179 \ln x - 315,91, \quad R^2 = 0,918, \quad (10)$$

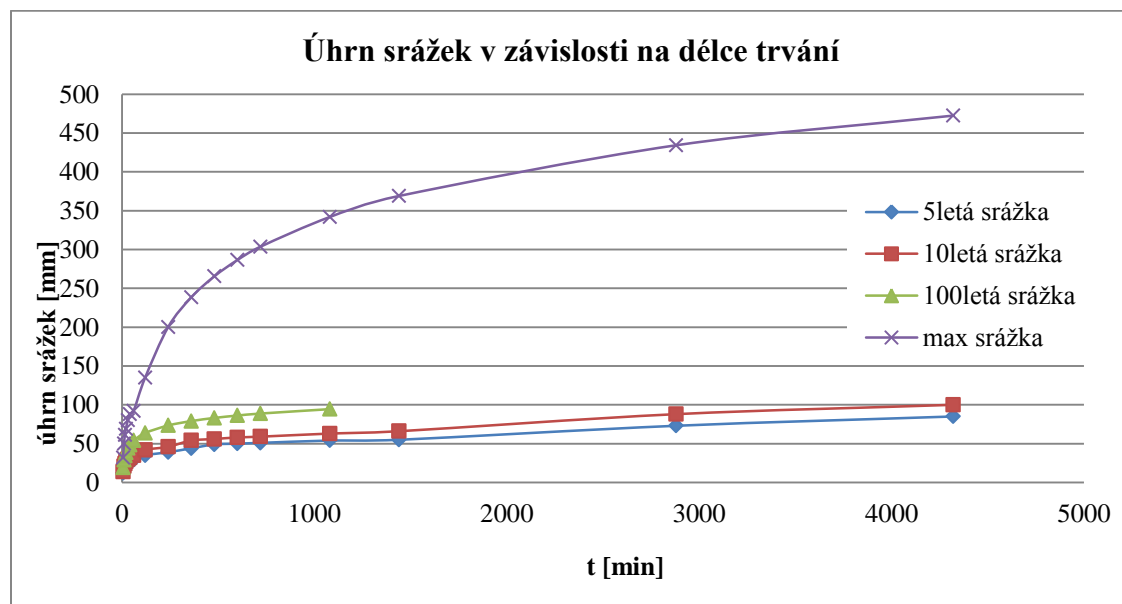
kde x je délka trvání srážkového úhrnu,

y je výška srážkového úhrnu délky trvání x ,

R je empirická konstanta vyjadřující přesnost aproximace.

Pokud by známé srážkové úhrny byly aproximovány pouze jedinou funkcí, nejvyšší přesnost této aproximace by byla pouze $R^2 = 0,902$. Zvýšení přesnosti aproximace se výrazně projevuje především u hodnot úhrnů srážek kratšího trvání. Jednotlivé srážkové úhrny jsou zobrazeny na obr. 14.

Obr. 14: Úhrn srážek v závislosti na délce trvání



4.2 Charakteristika jednotlivých zkoumaných území

Z podkladových materiálů jednotlivých stavebních projektů bylo odhadnuto, že po skončení stavby bude území VILADOMY VEESLAVÍN zastavěno z 65 %, z čehož 5 % bude tvořit asfaltový povrch. Území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ bude zastavěno z 35 % své plochy, z toho 5 % bude tvořit asfaltový povrch. Území PALÁC STROMOVKA bude zastavěno z 95 %, z toho 5 % bude tvořit asfaltový povrch, dále 25 % tvoří střecha s neekologickým povrchem, tj. povrchem, ze kterého srážky bez vsakování okamžitě odtékají, a 65 % tvoří zatravněná střecha. Pro potřeby této práce a porovnání odtoku z území s ekologickou a neekologickou stavbou byl odtok z území PALÁC STROMOVKA hodnocen i v případě, kdy by oněch 65 % celkové plochy nebylo tvořeno zatravněnou střechou, ale střechou s neekologickým povrchem. Území BYTY SEMMERING bude zastavěno z 25 %, z toho 5 % připadá na příjezdové komunikace a 20 % na střechu s ekologickým povrchem.

V této práci předpokládáme, že hodnota CN čísla střechy s ekologickým povrchem je stejná, jako hodnota CN čísla území před stavbou. Hodnota CN čísla asfaltového povrchu je 100. Váženým průměrem hodnot CN čísla jednotlivých povrchů byla vypočtena průměrná hodnota CN čísla zastavěných území. Typy povrchu podle normy ČSN 75 9010 a hodnoty CN čísla (ČHMÚ 2012, C) pro zkoumaná území jsou uvedeny v tab. 3.

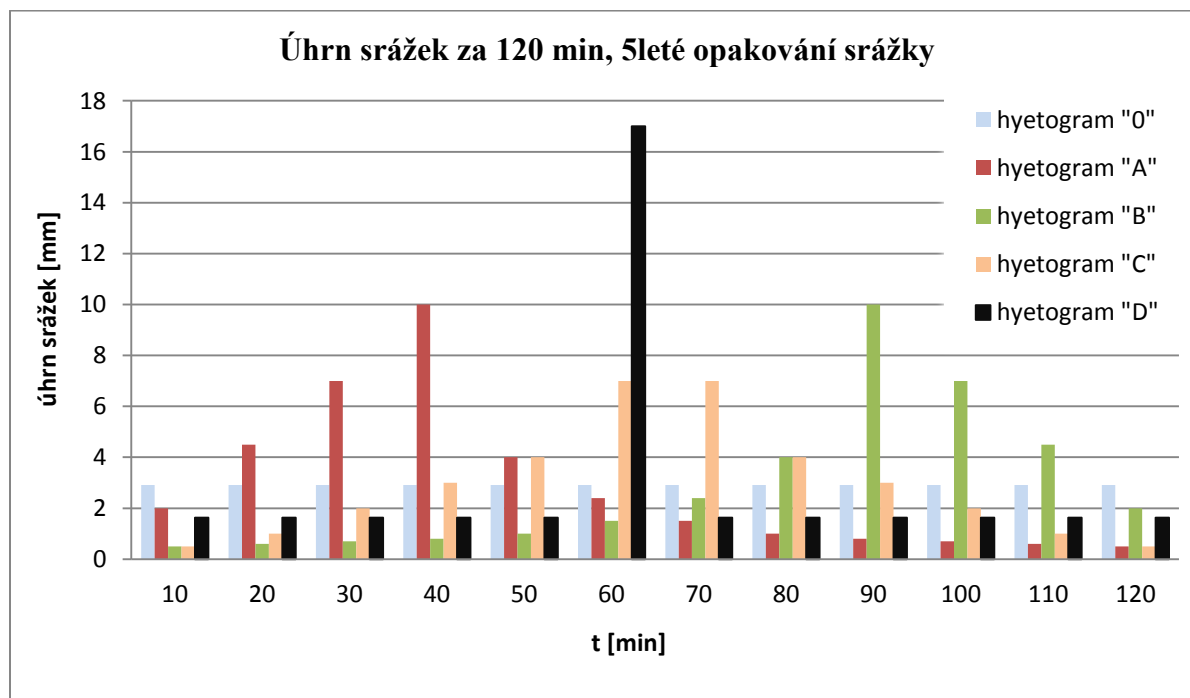
Tab. 3: Hodnoty CN čísla a typy povrchu zkoumaných území

	VILADOMY VEESLAVÍN	RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ	PALÁC STROMOVKA	PALÁC STROMOVKA EKO	BYTY SEMMERING
hodnota CN před stavbou	85	85	88	88	88
hodnota CN po stavbě	94,75	90,25	99,4	91,6	88,6
druh odvodňované plochy před stavbou, sklon povrchu [%]	zatravněné plochy [nad 5 %]	zatravněné plochy [1 % až 5 %]	zatravněné plochy [nad 5 %]	zatravněné plochy [nad 5 %]	zatravněné plochy [nad 5 %]
druh povrchu příjezdové cesty po stavbě, sklon povrchu [%]	asfaltové a betonové plochy, [nad 5 %]	asfaltové a betonové plochy, [1 % až 5 %]	asfaltové a betonové plochy, [nad 5 %]	asfaltové a betonové plochy, [nad 5 %]	asfaltové a betonové plochy, [nad 5 %]
druh povrchu střechy po stavbě, sklon povrchu [%]	střechy s nepropustnou horní vrstvou, [do 1 %]	střechy s nepropustnou horní vrstvou, [nad 8 %]	střechy s nepropustnou horní vrstvou, [do 1 %]	střechy s nepropustnou horní vrstvou, [do 1 %]	střešní zahrady, [do 8 %]
druh povrchu střechy po stavbě, sklon povrchu [%]				střešní zahrady, [do 1 %]	

4.3 Tvorba návrhových hyetogramů

Pro jednotlivé srážkové úhrny byly navrženy syntetické hyetogramy (hyetogramy pro 120min srážku s 5letým opakováním a různé průběhy dešťové srážky, viz obr. 15). Hyetogram typu 0 je hyetogram s konstantní intenzitou srážky. Hyetogram typu A se vyznačuje strmým růstem intenzity srážky na jejím počátku. Hyetogram typu B vznikl inverzním otočením hyetogramu typu A. Hyetogram typu C má tvar Gaussovy křivky. Hyetogram typu D popisuje dílčí srážku velmi vysokého úhrnu v průběhu jednoho dílčího kroku celkové srážky. Velikost srážkového úhrnu v průběhu tohoto dílčího kroku celkové srážky se blíží velikosti celkového úhrnu návrhové srážky s kratší délkou trvání rovnou délce tohoto časového kroku, přičemž úhrny srážek ve zbylých časových krocích jsou nízké. Hyetogramy D byly navrženy pouze pro srážky trvající 60 min a déle, neboť časový krok u srážek trvání kratšího než 60 min je kratší než 5 min, což je délka trvání nejkratší navržené srážky.

Obr. 15: Hyetogramy pro 120min srážku s 5letým opakováním



Protože velikost úhrnu srážky roste s délkou trvání srážky logaritmicky (obr. 14), je růst velikosti úhrnu srážky největší u srážek s krátkou dobou trvání. U srážek trvání kratšího než 60 min je nárůst úhrnu srážek natolik rychlý, že při návrhu hyetogramů typu A a B lze zvolit úhrn srážek v jednotlivých časových krocích tak, aby se velikost srážkového úhrnu v časovém kroku s nejvyšším úhrnem srážky

blížila celkové velikosti úhrnu návrhové srážky délky trvání rovné délce tohoto časového kroku. Zároveň lze volit úhrny srážek v časových krocích sousedících s výše uvedeným časovým krokem tak, aby se libovolný součet úhrnů srážek probíhajících v jednotlivých časových krocích blížil srážkovému úhrnu návrhové srážky délky trvání rovné součtu délek trvání dílčích časových kroků. Lze proto říci, že hyetogram typu A a B pro návrhové srážky trvající po dobu kratší než 60 min do značné míry nahrazuje hyetogram typu D.

Při navrhování hyetogramu typu D pro návrhové srážky se 100letým opakováním překračovala hodnota úhrnu srážky v časovém kroku s maximem srážky hodnotu vypočtenou pro návrhovou 100letou srážku délky trvání shodné s délkou tohoto časového kroku a blížila se hodnotě vypočtené pro návrhovou maximální srážku. Tento způsob navržení byl zvolen vzhledem k poznatkům z povodně v srpnu roku 2010 v severních Čechách (Kubát et al., 2010), kdy byla extrémita tříhodinových úhrnů srážek často větší než extrémita šestihodinových úhrnů srážek. Úhrn např. tříhodinového deště na Labské boudě dne 6.8.2010 byl 83,3 mm (doba opakování delší než 200 let), úhrn šestihodinové srážky na tomtéž místě ve stejném dni a čase byl 89,3 mm (doba opakování 50 let). V Hejnici na Liberecku byl celkový úhrn tříhodinové srážky 115 mm (doba opakování delší než 200 let), úhrn šestihodinové srážky byl 143,1 mm (doba opakování 100 let).

Protože:

$$P_i^t / P_k^t \neq konst., \quad (11)$$

kde P_i^t úhrn srážky s i -letým opakováním s dobou trvání t min,

a P_k^t je úhrn srážky s k -letým opakováním s dobou trvání t min

nebylo možné navrhnout a počítat hyetogramy pro úhrny srážek stejné délky trvání a různé doby opakování principem superpozice. Přesto byl při návrhu hyetogramů kladen důraz na to, aby vypočtené hyetogramy pro úhrny srážek stejné délky trvání a různé doby opakování byly tvarově co nejbližší.

4.4 Tvorba hydrogramu v prostředí MS Excel

Odvození hydrogramu z hyetogramu, tj. vlastní výpočet, lze rozdělit do tří základních kroků. Prvním je výpočet efektivní srážky, tj. té části srážky, která se infiltruje do půdy a není zachycena vegetačním krytem. Dalším krokem je výpočet odtokové výšky po vsaku části efektivní srážky do půdy

a propustných hornin. Při výpočtu hydrogramu v MS Excel je vzhledem k malým plošným rozměrům zájmových území zanedbána zpětná exfiltrace části infiltrované srážky a její podílení se na celkovém odtoku. Protože maximální délka povrchového odtoku ze zkoumaných území je nevelká, není uvažován ani základní odtok. Třetím krokem je výpočet jednotkových hydrogramů pro každý dílčí časový krok a vytvoření hydrogramu. Použitým jednotkovým hydrogramem je trojúhelníková varianta jednotkového hydrogramu (UH) SCS (National Weather Service 2013) (pozn.: pro lepší srozumitelnost zápisu nahrazujeme v této práci v příkazových rovnicích příkaz $\text{SUM}(x_0:x_v)$ používaný MS Excel sumačním symbolem $\sum_0^v x$).

4.4.1 Princip algoritmu výpočtu hydrogramu konečného odtoku trojúhelníkovým UH modelem (rovnice, logické podmínky a příkazy)

V době zadání diplomové práce nebyl trojúhelníkový UH model rozveden do podoby, která by umožnila přímé odvození jiných než jednotkových hydrogramů. Bylo ho proto nezbytné rozepsat tak, aby nově sestavené rovnice a logické příkazy v zadání diplomové práce předepsaném prostředí MO Excel vedly k výsledkům, jež by již přímé odvození hydrogramů konečného odtoku umožnily.

Užití tabulkového procesoru MS Excel se na první pohled může zdát jako velmi primitivní řešení. Ukázalo se však, že vzhledem k charakteru zadávaných dat (diskrétních hodnot) je i při své relativní jednoduchosti plně vyhovující. Užití složitějšího programovacího jazyka ve spojení s podobou zadávaných dat by pravděpodobně mohlo paradoxně vytvářet problémy při sestavování výpočtového modelu a výrazně ztížit řešení celého úkolu. V následujícím se omezíme pouze na výčet hlavních rovnic a logických příkazů. Popisujeme je v takové posloupnosti, abychom naznačili filosofii použitého algoritmu výpočtu

Počáteční ztráta srážky intercepce je rovna podle USDA (2013) 0,2 S (maximální možná retence v povodí). Podle USDA (2013) platí pro maximální možnou retenci v povodí

$$S = 1000 / CN - 10 \text{ [inch]}. \quad (12)$$

Po přepisu do soustavy jednotek SI dostáváme pro maximální možnou retenci v povodí

$$S = 25,4 \times (1000 / CN - 10) \text{ [mm]} \quad (13)$$

Výpočet efektivní srážky lze v prostředí MS Excel popsat příkazem

$$P_{efi} = if(N_i < 0; P_i; P_i - N_i) \text{ [mm]}, \quad (14)$$

P_{efi} je úhrn efektivní srážky v i -tém časovém kroku, P_i srážkový úhrn v i -tém časovém kroku.

Mezikrok N_i je dán podmínkou

$$N_i = IF(\sum_0^i P < 0,2S; 0,2S - \sum_0^{i-1} P_i; P_i). \quad (15)$$

Pro výpočet množství infiltrovaných srážek z úhrnu efektivních srážek byla užita teorie Hortonovské infiltrace (Horton, 1933)

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kT}, \quad (16)$$

kde f_c je konečná infiltrační rychlost [mm.min⁻¹],

f_0 je maximální infiltrační rychlost [mm.min⁻¹],

T je doba od počátku deště [mm],

k je konstanta [mm⁻¹]

Hodnoty maximální i konečné infiltrační rychlosti byly uvedeny v kapitole 2.5. Protože infiltrační rychlosti byly odvozeny pouze zhruba a neproběhl žádný geologický průzkum zkoumaných území, byl v souladu s metodikou (XP Software, 2013) zvolen jednotný odhad $k = 0,069$ pro všechna zkoumaná území. Vypočtené hodnoty f_p byly zprůměrovány podle metodiky (Gupta, 2001)

$$f_a = (f_{pi} + f_{p(i-1)})/2, \quad (17)$$

f_a průměr infiltrované srážky i -tém časovém kroku [mm. min⁻¹],

f_{pi} je infiltrovaná srážka v i -tém časovém kroku [mm. min⁻¹],

Dále určíme hodnoty skutečné absolutní možná infiltrace f_r [mm]

$$f_{ri} = P_{efi} - H_i, \quad (18)$$

P_{efi} jsou efektivní srážky v i -tém časovém kroku [mm],

pomocnou veličinu H_i definujeme příkazem

$$H_i = \text{MAX}(0; P_{efi} - \text{OFFSET}(f_a \times l; \text{COUNTIFF}(\sum_1^i P_{efi}; "> 0"; 0))). \quad (19)$$

Podle USDA (2013) je maximální možná retence půdy rovna 0,8 S . Výpočet skutečné absolutní retence F [mm] provedeme příkazovou rovnicí

$$F_i = IF(0,8S > \sum_1^i f_{ri}; if((0,8S - f_{ri}) < 0; 0; 0,8S - f_{ri}); f_{ri}) \text{ [mm]} \quad (20)$$

a pro odtokovou výšku Q_i dostáváme

$$Q_i = P_{efi} - F_i \text{ [mm]}. \quad (21)$$

Z výše uvedených rovnic vyplývá, že infiltrační křivka nebyla revidována, např. metodou podle Gupty (2001). Revizí se rozumí úprava křivky, pokud úhrn efektivní srážky v časovém kroku i je nenulový, ale nižší, než absolutní možná potenciální retence v časovém kroku i . V takovém případě je revidovaná absolutní možná retence v časovém kroku $i+1$ vyšší, než nerevidovaná absolutní možná retence v časovém kroku $i+1$. Revize nebyla provedena pro přílišnou složitost a nemožnost parametrického vyjádření v prostředí MS Excel, jež bylo k řešení předepsáno.

Dále byly vypočteny SCS jednotkové hydrogramy (UH) trojúhelníkové varianty pro jednotlivé časové kroky i . Pro výpočet SCS jednotkového hydrogramu je nutné vypočítat dobu T_p mezi počátkem deště a kulminací odtoku. Délka základny jednotkového hydrogramu odpovídá $2,67 T_p$ (Daňhelka, 2007).

Délku časového intervalu T_p mezi okamžikem, kdy začalo pršet a okamžikem kulminace odtoku lze odvodit z doby T_{lag} výskytu těžiště příčinného deště po kulminaci, neboť hodnota $T_{lag} \approx 0,9T_p$. Hodnotu T_{lag} lze vyjádřit z charakteristik povodí podle rovnice SCS (upraveno pro použití jednotek SI) (Daňhelka, 2007)

$$T_{lag} = \frac{(3,281 \times L)^{0,8} \times [(1000/CN - 10) + 1]^{0,7}}{1900 \times SI} \text{ [hod]}, \quad (22)$$

kde L je délka nejdelší odtokové trasy [m],

SI je průměrný sklon odvodněného území [%]

Vypočtené doby odtoku z jednotkové srážky jsou uvedeny v tab. 4. Kulminační odtok Q_p definujeme (Daňhelka, 2007) jako

$$Q_{pi} = (749 \times 0,3861 \times A \times Q_i) / T_p \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (23)$$

A je plocha povodí [m^2],

Q_i je odtoková výška v čase i ,

T_p je délka časového intervalu mezi okamžikem, kdy začalo pršet a okamžikem kulminace odtoku.

Využijeme-li princip superpozice jednotkových trojúhelníků, lze stanovit velikost konečného odtoku Q_k . Celý průběh odtoku je schematicky zobrazen na obr. 16.

Obecně je rovnice přímky, jejíž součástí je rostoucí větev jednotkového hydrogramu trojúhelníkové schematizace, v kartézské soustavě souřadnic popsána výrazem

$$f(x) = \frac{-Q_{pi} \times (x - (l \times (i - 1)))}{(l \times (i - 1)) - (T_p + (l \times (i - 1)))} = \frac{-Q_{pi} \times (x - (l \times (i - 1)))}{(l \times (i - 1)) \times (1 - T_p)} \quad (24)$$

Rovnici přímky, jejíž součástí je klesající větev jednotkového hydrogramu trojúhelníkové schematizace, lze v kartézské soustavě souřadnic vyjádřit jako

$$f(z) = \frac{-Q_{pi} \times (z - (2,67T_p + l \times (i - 1)))}{(2,67T_p (l \times (i - 1))) - (T_p + (l \times (i - 1)))} \quad (25)$$

po úpravě

$$f(z) = \frac{-Q_{pi} \times (z - (2,67T_p + l \times (i - 1)))}{(l \times (i - 1)) \times (2,67T_p - T_p)} \quad (26)$$

kde Q_{pi} je vrchol trojúhelníku v i -tém kroku, tj. kulminace odtoku v i -tém kroku,

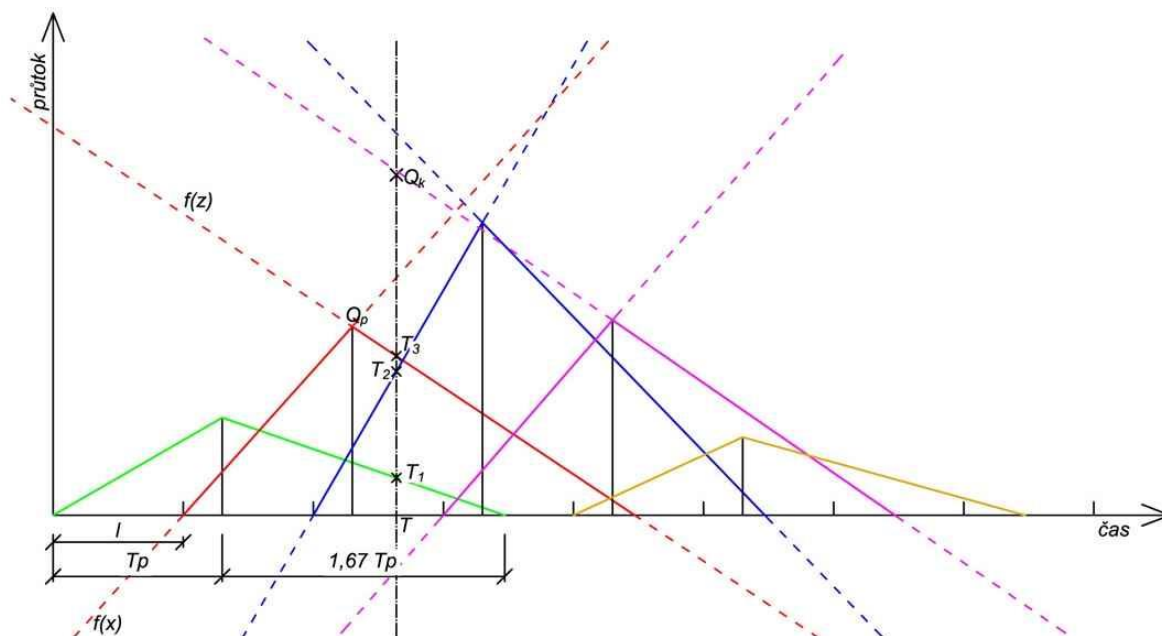
l je délka časového kroku,

$(l \times (i - 1))$ je počátek odtoku z jednotkového deště,

$T_p + (l \times (i - 1))$ je konec odtoku z jednotkového deště,

T_p doba od počátku deště do kulminace odtoku.

Obr. 16: Schematické znázornění průběhu odtoku



Dále bylo nutné určit polohu průsečíku i -tého trojúhelníku, definovaného průsečíky přímek určených funkcemi $f(x)$, $f(z)$ a základnou ležící na ose x , s kolmicí spuštěnou z bodu T . Pokud průsečík přímky určené funkcí $f(x)$ nebo funkcí $f(z)$ a kolmice spuštěné z bodu T leží v kvadrantu IV, ve skutečnosti v čase T ještě neprobíhal jednotkový odtok tvořený i -tým trojúhelníkem, neboť odtok nemůže nabývat záporných hodnot. Pokud průsečík neleží v kvadrantu IV, bod T leží na základně i -tého trojúhelníku a kolmice protíná obě přímky určené funkcemi $f(z)$ a $f(x)$ v kvadrantu I. Z těchto dvou průsečíků je potom hledaným průsečíkem ten průsečík, jehož hodnota y je nižší. Vyjádřeno rovnicí v MS Excelu

$$T = \max(\min(f(x); f(z)); 0)$$

Sečtením hodnot z souřadnic jednotlivých průsečíků ležících na kolmici procházející bodem T zjistíme velikost konečného odtoku Q_k v zkoumaném okamžiku. Křivku hydrogramu konečného odtoku získáme proložením vypočtených bodů Q_k v čase 0 až n .

Délka základny jednotkového hydrogramu odpovídá době odtoku z jednotkové srážky (Daňhelka, 2007). Z toho vyplývá, že pokud je délka časového kroku návrhového hydrogramu delší, než je délka základny SCS jednotkového hydrogramu, nelze výše zmíněnou metodu trojúhelníkových UH

pro výpočet odtoku použít. Bylo proto rozhodnuto, že pro potřeby výpočtu velikosti odtoku ze srážek s časovým krokem delším, než délka základny SCS jednotkového hydrogramu, lze považovat dobu trvání odtoku z jednotkové srážky za přibližně rovnou době trvání srážky. Kulminační průtok Q_p v i -tém kroku lze vyjádřit

$$Q_{pi} = (Q_i \times A \times 1000) / (l \times 60) [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (27)$$

kde Q_i je odtoková výška v i -tém kroku [mm],

A je plocha odvodněného území [km^2],

l délka časového kroku [min].

Konec odtoku z celé srážky je v čase $t+T_c$. Konstanta T_c je dobou koncentrace, tj. dobou, po kterou odtéká voda z místa nejvzdálenějšího od závěrového profilu z povodí. Přitom doba výskytu těžiště příčinného deště po kulminaci $T_{lag} \approx 0,6T_c$ (U.S. Army Corps of Engineers, 2000). Hodnoty T_c jsou uvedeny v tab. 4.

Na blokový výpočet odtoku ze srážek bylo vytvořeno jednoduché makro v jazyce VBA:

```
Sheets("hyetogramy").Select
Columns("A:B").Select
Selection.Copy
Sheets("vzorec").Select
Range("A1").Select
ActiveSheet.Paste
Range("AQ27:AR53").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("vysledky").Select
Range("A1").Select
ActiveSheet.Paste
Selection.PasteSpecial Paste:=xlValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks:= _
False, Transpose:=False
```

Vzorec pro výpočet hydrogramu je na listu "vzorec", vstupní hodnoty (srážky) na listu "hyetogramy" a výsledky výpočtů na listu "vysledky". Sloupce "A:B" představují časové kroky jedné srážky, respektive úhrn srážek v každém jednotlivém časovém kroku. Oba sloupce se zkopírují do listu "vzorec" do buněk

počínající buňkou "A1", což je oblast vstupních hodnot vzorce. Výsledné hodnoty jsou v oblasti buněk "AQ27:AR53", které se zkopírují do listu "vysledky" do buněk počínajících buňkou "A1".

Tab. 4: Doby odtoku z jednotkové srážky (délka základny UH) a koncentrace T_c

	VILADOMY VEESLAVÍN	RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ	PALÁC STROMOVKA	PALÁC STROMOVKA EKO	BYTY SEMMERING
doba odtoku z jednotkové srážky [min] před stavbou	9,79	13,57	8,47	8,47	3,84
doba odtoku z jednotkové srážky [min] po stavbě	6,54	11,12	4,83	7,32	3,75
T_c [min] před stavbou	5,50	7,62	4,76	4,76	2,16
T_c [min] po stavbě	3,68	6,25	2,72	4,11	2,11

4.5 Tvorba hydrogramu v prostředí HEC-HMS

Při tvorbě hydrogramů v programu HEC-HMS byl v části zvané „Subbasin“ zvolen způsob výpočtu infiltrace „Loss Method“ pomocí CN hodnot „SCS Curve Number“. Transformační metoda „Transform Metod“ byla zvolena pomocí Clarkova jednotkového hydrogramu „Clark Unit Hydrograph“. Pro výpočet pomocí Clarkova jednotkového hydrogramu bylo nutné spočítat dobu T_c , která byla vypočtena stejně jako hodnota T_c v kapitole „Tvorba hydrogramu v prostředí MS Excel“ metodou SCS. Dále bylo nutné určit hodnotu retenční konstanty R_c , kterou lze vyjádřit výrazem (Vološ, 2007)

$$R_c = A \times L^B \times S_{1085}^C, \quad (28)$$

kde L maximální délka toku v povodí v mílech,

S_{1085} je průměrný sklon povodí podél maximální délky toku ve stopách na míli v úseku mezi 10 – 85 % sklonem, na zkoumaných územích je vzhledem k minimálnímu výškovému rozdílu podél toku uvažován jen průměrný sklon povodí,

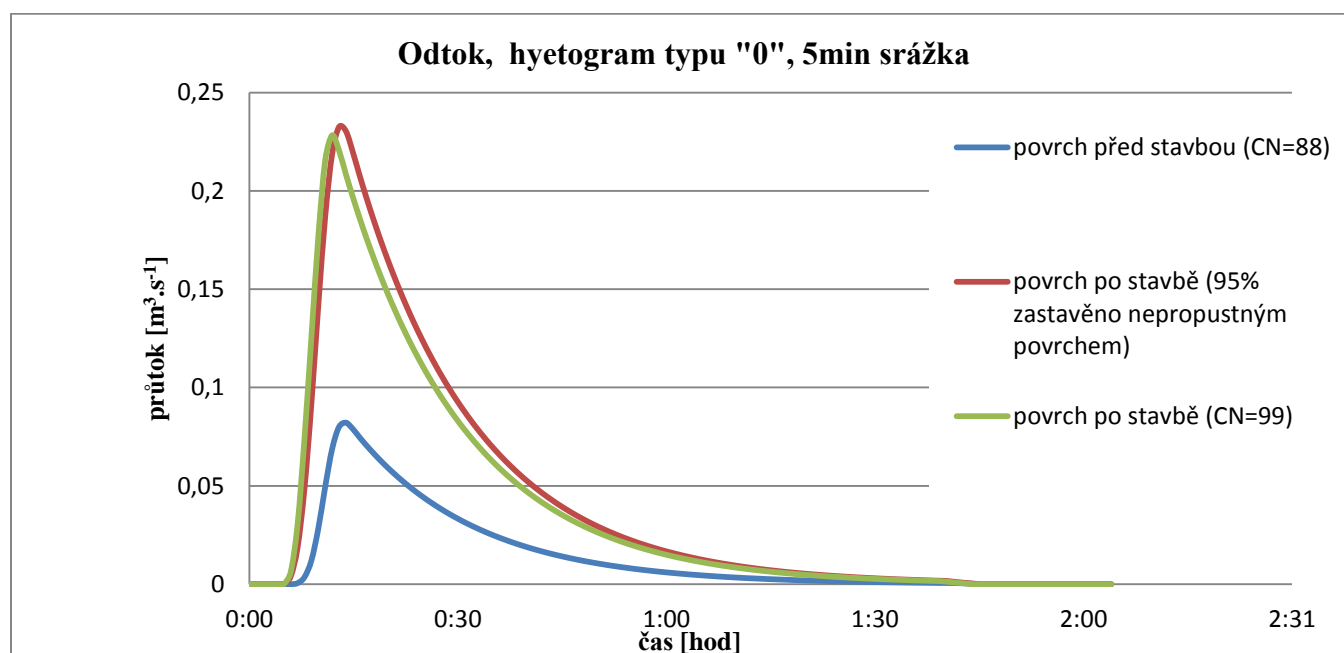
A , B , C jsou parametry rovnice, původně stanovené pro stát Illinois v USA; pro podmínky v ČR byly upraveny na hodnoty $A = 80$, $B = 0,342$, $C = -0,79$.

Další volitelné parametry „Canopy Method“, „Surface Method“ a „Baseflow Method“ užity nebyly. V části programu „Meteorologic Model“ byl za vstupní parametr srážek „Precipitation“ vybrán

hyetogram „Specified Hyetograph“. Další parametry použity nebyly. Za časový krok výpočtu byla zvolena 1 min.

Při výpočtu odtoku ze zastavěného území nebylo počítáno se změnou hodnotou CN, ale s procenty nepropustného povrchu. Hodnoty odtoku vypočtené tímto způsobem výpočtu byly nepatrně vyšší, než hodnoty vypočtené s užitím změněné hodnoty CN. Srovnání hydrogramu vypočteného oběma způsoby je na obr. 17.

Obr. 17: Srovnání odtoku z 5min maximální teoretické srážky, 0 hyetogram, území PALÁČ STROMOVKA



4.6 Výpočet přetečení ze vsakovacího zařízení

Retenční objem vsakovacího zařízení V_{vz} je v souladu s normou ČSN 75 9010

$$V_{vz} = \frac{h_d}{1000} \times (A_{red} + A_{vz}) - \frac{1}{f} \times k_v \times A_{vsak} \times t_c \times 60 \text{ [m}^3\text{]}, \quad (29)$$

kde h_d je návrhový úhrn srážky [mm] stanovené návrhové periodicity a doby trvání,

A_{red} je redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy [m²],

A_{vsak} je vsakovací plocha vsakovacího zařízení [m²],

A_{vz} je plocha hladiny vsakovacího zařízení [m²] (uvažuje se jen u povrchových vsakovacích zařízení),

f je součinitel bezpečnosti vsaku ($f \geq 2$),

k_v je koeficient vsaku (maximální infiltrační rychlost) [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

t_c je doba trvání srážky [min] stanovené návrhové periodicity

Podle normy se redukovaný půdorysný průmět odvodňované plochy A_{red} stanoví jako

$$A_{red} = \sum_{i=1}^n A_i \times \psi \quad [\text{m}^2], \quad (30)$$

kde A půdorysný průmět odvodňované plochy [m^2]

n je počet odvodňovaných ploch různého typu,

ψ je součinitel odtoku srážkových vod podle druhu a sklonu odvodňované plochy podle normy,

$$0 < \psi \leq 1$$

Norma ČSN 75 9010 definuje vsakovací plochu vsakovacího zařízení A_{vsak} výrazem

$$A_{vsak} = (0,1 \text{ až } 0,3) A_{red}, \quad (31)$$

Pro naše výpočty bylo zvoleno $A_{vsak} = 0,1 A_{red}$, aby dimenzovaný objem vsakovacího zařízení byl co největší.

Pro zjednodušení výpočtů bylo rozhodnuto, že vsakovací zařízení je podzemního typu, tedy $A_{vz} = 0$. Hodnota součinitele bezpečnosti vsaku byla zvolena $f = 2$.

Za návrhový objem V_{vz} je normou ČSN 75 9010 považován největší vypočtený retenční objem vsakovacího zařízení pro návrhové srážky daného opakování.

Jelikož cílem práce bylo ověřit funkčnost normy ČSN 75 9010 v praktických podmínkách a normou navržená periodičita srážek je pouze 5 let a 10 let, byl retenční objem vsakovacího zařízení vypočten jen pro všechny návrhové úhrny srážek s dobou opakování 5 let a 10 let. Pro návrhové úhrny 5letých srážek byl proveden výpočet přetečení ze vsakovacího zařízení dimenzovaného na úhrn srážek s dobou opakování 5 let. V případě vsakovacího zařízení dimenzovaného na 10leté srážky byla zkoumána míra jeho přetečení nejen pro návrhové úhrny 10letých srážek, ale pro v normě neuvažované úhrny 100letých a maximálních teoretických srážek.

Doba prázdnění vsakovacího zařízení T_{pr} je normou (ČSN 75 9010) popsána výrazem

$$T_{pr} = \frac{f \times V_{vz}}{k_v \times A_{vsak}} \text{ [s]}, \quad (32)$$

A_{vsak} je vsakovací plocha vsakovacího zařízení [m^2],

V_{vz} je retenční objem vsakovacího zařízení [m^3].

Doba prázdňení může být maximálně 72 hod (ČSN 75 9010). Rychlost prázdňení Q_{inf} je definována jako

$$Q_{inf} = V_{vz} / T_{pr} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}. \quad (33)$$

Výpočty odtoku vody, který vznikl přetečením z navrženého vsakovacího zařízení, se při zpracování programem HEC–HMS a tabulkovým procesorem v MS Excel navzájem lišily.

Odtok O_i vody v i -tém kroku přetečené ze vsakovacího zařízení z odtoku vypočteného v HEC – HMS byl dán předpisem

$$O_i = IF(AND(V_i > 0; (\sum_0^i V - \sum_0^i O) \geq V_{vz}); V_{vz} / 60; 0) \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}, \quad (34)$$

V_i je objem vody v nádrži z i -tého časového kroku [m^3],

i je časový krok o konstantní délce 1 min.

V_i bylo určeno předpisem

$$V_i = IF(Q_{ki} < Q_{inf}; 0; (Q_{ki} - Q_{inf}) \times 60 \text{ [m}^3\text{]}) \quad (35)$$

Q_{ki} je průměrný odtok ze zkoumaného území v časovém kroku i [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Při výpočtu se zanedbává odtok vody přetečením z navrženého vsakovacího zařízení během časového kroku, v němž přetečení nastalo. (V průběhu tohoto časového kroku se nejdříve po určitou dobu plní vsakovací zařízení, po jeho úplném naplnění nastává odtok, který vzorec nezahrnuje. Ve výpočtu se uplatní odtok vody až v následujícím časovém kroku.) Složitější soustava vzorců vylučující tuto nepřesnost nebyla z důvodu početní náročnosti užita, neboť soubory dat obsahovaly téměř 10^6 vstupních hodnot. Navíc vzhledem ke krátké, konstantní délce časového kroku (pouze 1 min) je vzniklá odchylka výsledku zanedbatelná.

Při výpočtu odtoku O_i přetečeného ze vsakovacího zařízení tabulkovým procesorem MS Excel byl uvažován i odtok vody přetečené ze vsakovacího zařízení, jenž nastává v průběhu časového kroku

$$Q_i = \frac{IF((\sum_0^{i-2} V + (Q_{ki} \times l_i \times 60) - M_i) > V_{vz}; \sum_0^{i-2} V + (Q_{ki} \times l_i \times 60) - M_i - V_{vz}; 0)}{l_i \times 60} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}],$$

(36)

Pomocnou veličinu $\sum_0^{i-1} V$ definujeme příkazem

$$\sum_0^{i-1} V = \sum_0^{i-2} V + (Q_{ki} \times l_i \times 60) - M_i - Q_{vi} [\text{m}^3],$$

(37)

a veličinu M_i podmínkou

$$M_i = IF(((Q_{ki} \times l_i \times 60) + \sum_0^{i-2} V) \geq (Q_{\inf} \times l_i \times 60); Q_{\inf} \times l_i \times 60; (Q_{ki} \times l_i \times 60) + \sum_0^{i-2} V) [\text{m}^3],$$

(38)

i je časový krok,

l je délka časového kroku i [min]

5. Výsledky práce

Cílem práce bylo ověřit funkčnost normy ČSN 75 9010. K tomu bylo vybráno pět zájmových území a vytvořeny pro ně návrhové úhrny srážek (5leté, 10leté, 100leté a maximální; 17 různých dob trvání; pro každou dobu trvání až pět možných typů srážky) a návrhové hyetogramy, celkem 2600 průběhů.

Jako jeden z mezi – výstupů zpracování byl ve vybraných případech hodnocen poměr kulminace odtoku ze zájmového území po stavbě a kulminace odtoku z téhož území před stavbou; pro zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN byly porovnány časové průběhy odtoku před stavbou, po stavbě a přetečení v případě 60min srážky.

Ve všech zájmových územích byly modely hodnoceny srovnáním

- kladného rozdílu kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení a kulminace odtoku z území před zastavěním
- intenzity přetečení pro každý typ srážky dané délky trvání a opakování
- poměru celkového přetečení a celkového odtoku z území před stavbou.

K hodnocení výsledků práce byl užit Clarkovův UH model v prostředí HEC – HMS a vytvořen algoritmus pro trojúhelníkový UH model v prostředí MS Excel.

5.1 Poměr kulminace odtoků ze zájmových území po stavbě a před stavbou při návrhových 5letých a maximálních srážkách

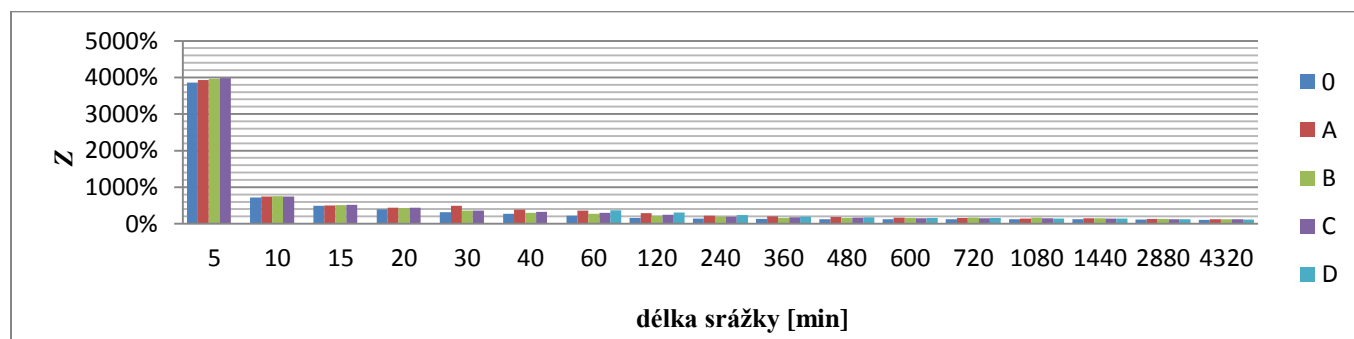
Hodnoty získané Clarkovým UH modelem ukazují, že nejvyšší hodnoty poměru kulminace odtoků ze zájmových území po stavbě a před stavbou Z jsou na všech zájmových území výrazně nejvyšší při 5min srážkách. Hodnota Z s prodlužující se délkou srážky exponenciálně klesá. Hodnoty Z získané trojúhelníkovým UH modelem vykazují rozkolísaný trend s maximem při 5min srážkách. Příklad typických časových průběhů poměru kulminace odtoků ze zájmového území po stavbě a před stavbou při 5letých a maximálních srážkách je na obr. 18¹ až obr. 21, další příklady uvedeny v příloze (obr. 1p až obr. 16p).

Nejvyšší hodnoty Z při 5letých srážkách jsou na území VILADOMY VELESLAVÍN (dle Clarkova UH modelu zvýšení odtoku o téměř 4000 %; dle trojúhelníkového UH modelu zvýšení odtoku téměř o 1350 %) (obr. 18 a obr. 19). Výpočty obou modelů vedou k závěru, že nejnižší poměr kulminace

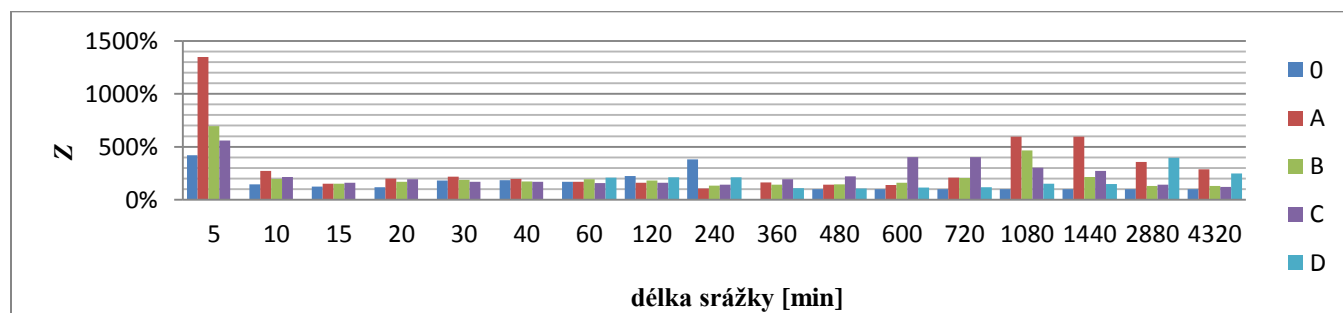
¹ Označení jednotlivých křivek odpovídá označení hyetogramů; tj. 0 vyjadřuje hodnotu Z při srážce, jejíž průběh je charakterizován tvarem 0 hyetogramu; A vyjadřuje hodnotu Z při srážce, jejíž průběh je charakterizován tvarem hyetogramu typu A atd. (viz kapitola 4.3)

odtoků ze zájmových území po stavbě a před stavbou při 5letých srážkách je na území BYTY SEMMERING (dle Clarkova UH modelu až 185 %; dle trojúhelníkového UH modelu až 150 %) a PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby (až 615 % dle Clarkova UH modelu; až 200 % dle trojúhelníkového UH modelu).

Obr. 18: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, Clarkův UH model



Obr. 19: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území VILADOMY VEESLAVÍN, trojúhelníkový UH model

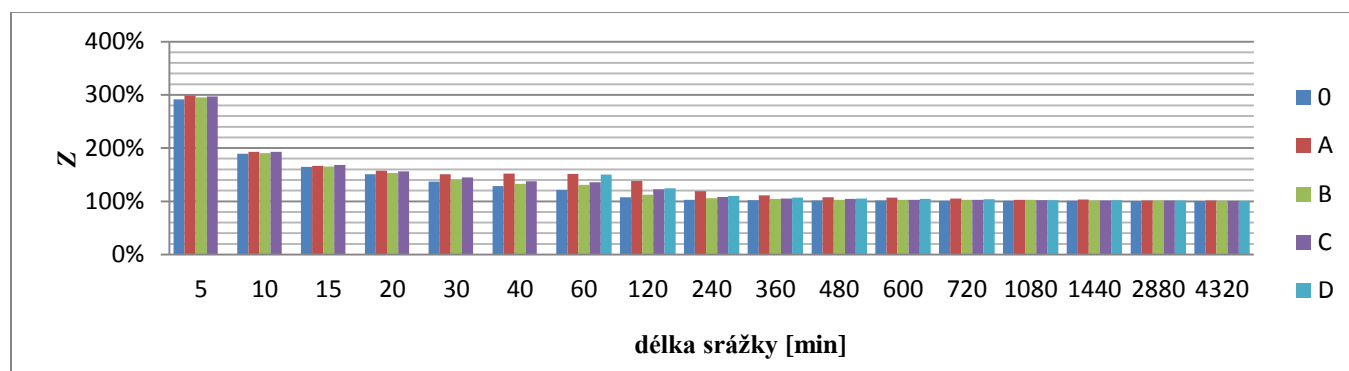


Z výpočtů Clarkovým UH modelem je zřejmé, že nejvyšší poměr kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce je na území VILADOMY VEESLAVÍN ($Z = 297 \%$) (obr. 20) a na území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby ($Z = 291 \%$). Dle výsledků trojúhelníkového UH modelu je nejvyšší hodnota Z na území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby (185 %). Nejnižší poměr kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce byl modely shodně zjištěn na území BYTY SEMMERING ($Z = 110 \%$ dle Clarkova UH modelu, $Z = 104 \%$ dle trojúhelníkového UH modelu).

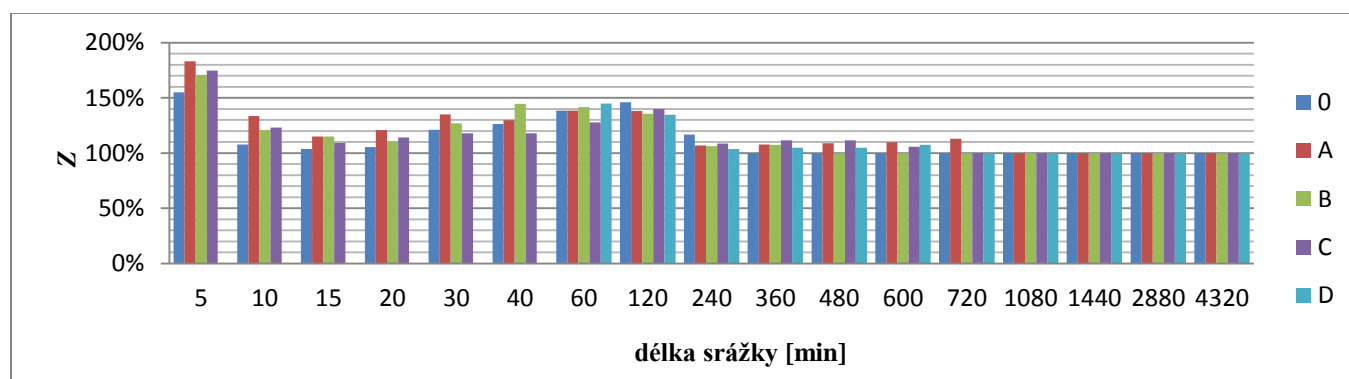
Je patrné, že hodnoty Z získané Clarkovým UH modelem jsou výrazně vyšší než hodnoty Z získané trojúhelníkovým UH modelem. Z výsledků dále vyplývá, že hodnota Z vypočtená Clarkovým UH modelem se s rostoucím podílem zastavěné plochy zvyšuje více než hodnota Z vypočtená trojúhelníkovým UH modelem.

Dále se potvrzuje, že s prodlužující se dobou opakování srážky se snižuje poměr kulminace odtoku po stavbě a před stavbou (srovnání obr. 18 s obr. 20 a obr. 19 s obr. 21) (viz výsledky studií Leopolda (1968) a Konrada (2003)).

Obr. 20: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model



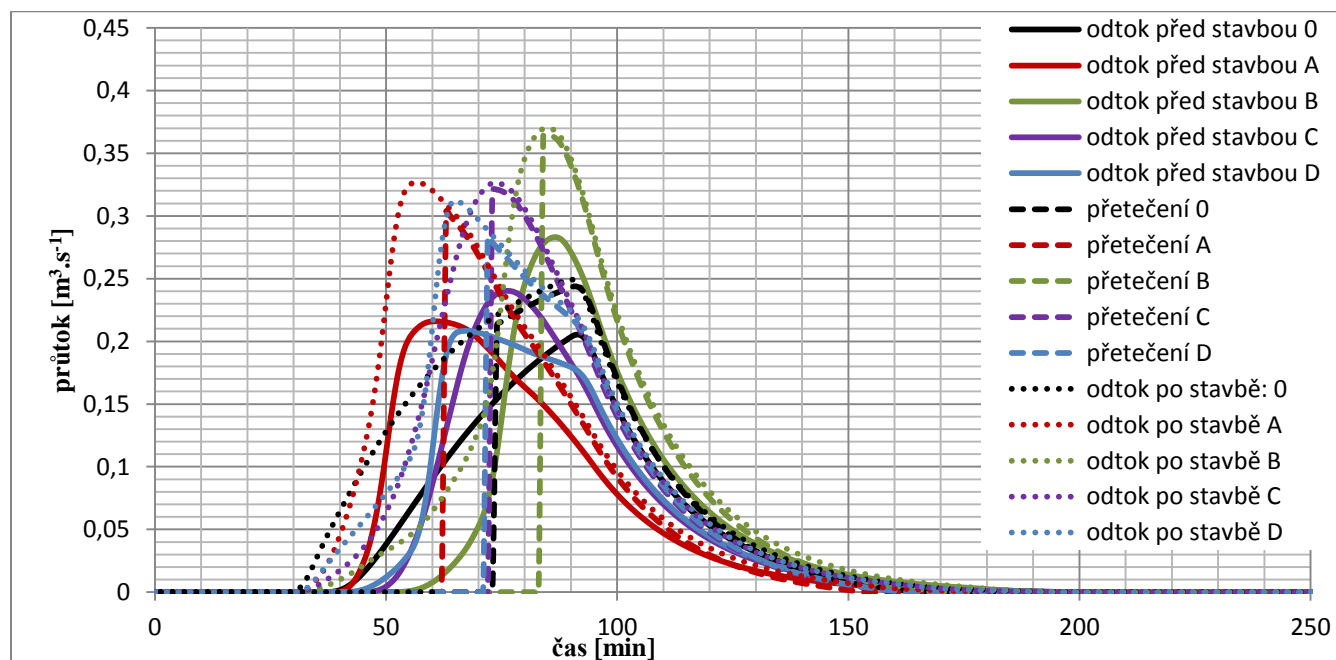
Obr. 21: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model



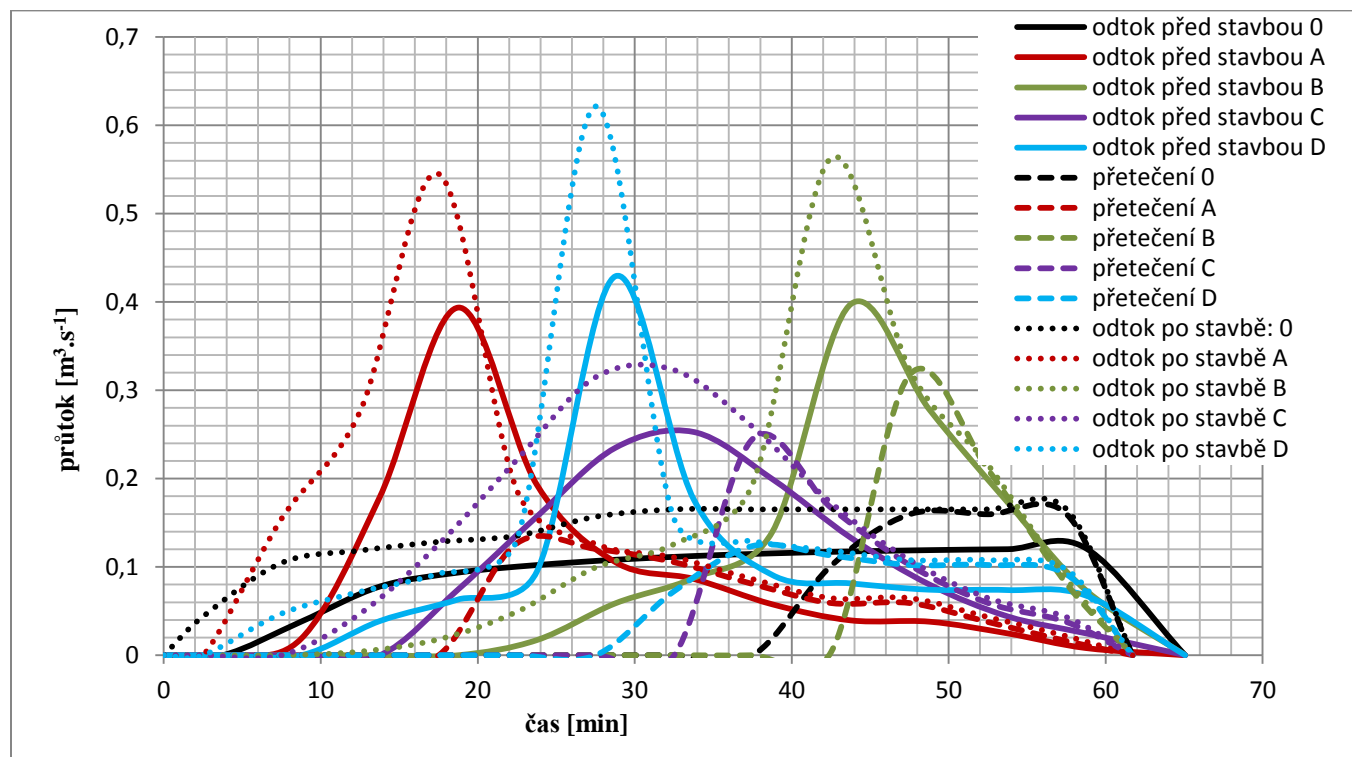
5.2 VILADOMY VELESLAVÍN – časové průběhy odtoku před stavbou, po stavbě a přetečení v případě 60min srážky na zájmovém území

Dalším příkladem mezi – výstupu práce je určení a porovnání časových průběhů odtoku před stavbou a po stavbě a přetečení pro 60min 5leté, 10leté, 100leté a maximální srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN. Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min maximální srážky jsou ukázány na obr. 22 a obr. 23. Další průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení jsou uvedeny v příloze (obr. 17p až obr. 22p). Ze srovnání obr. 22, obr. 23 a obr. ukázaných v příloze je zřejmé, že doba odtoku vypočtená Clarkovým UH modelem je výrazně delší než doba odtoku vypočtená trojúhelníkovým UH modelem. Je též patrné, že nejvyšší kulminace odtoku vypočtená Clarkovým UH modelem je při srážce typu B, zatímco nejvyšší kulminace odtoku zjištěná trojúhelníkovým UH modelem je při srážce typu D. Výsledky dále naznačují, že doba prodlení, tj. časový interval mezi těžištěm srážek a těžištěm odtoku, je v urbanizovaném povodí zkrácena, což má za následek rychlejší kulminaci odtoku, a že s rostoucí n – letostí srážky klesá poměr kulminace odtoku po stavbě a před stavbou.

Obr. 22: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min maximální srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model



Obr. 23: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min maximální srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model



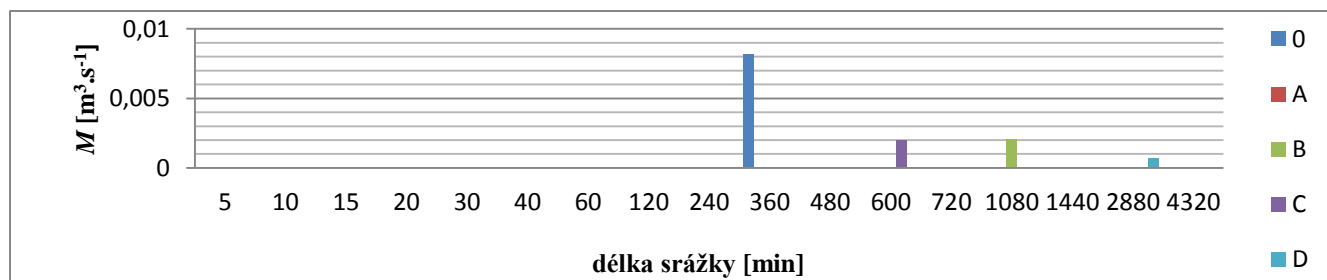
5.3 Zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN

5.3.1 5leté úhrny srážek

Z výpočtů získaných Clarkovým UH modelem vyplývá, že pro žádný typ (průběh) návrhové 5leté srážky (viz Tvorba návrhových srážek) nebyla kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení na území VILADOMY VELESLAVÍN vyšší než kulminace odtoku z území před stavbou. Hodnota kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou je v grafech značena jako M . Výpočty v trojúhelníkovém UH modelu, resp. vytvořeným algoritmem vedou k nejvyšší hodnotě rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M ($0,0020 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) při 360min srážce typu 0 (podrobněji o klasifikaci srážek viz kapitola 4.3). Vývoj hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M získané trojúhelníkovým UH modelem je pro jednotlivé typy a délky trvání srážkových úhrnů znázorněn na obr. 24. Je z něj patrné, že kulminace přetečení byla vyšší než kulminace odtoku před stavbou pouze při 360min srážce typu 0, 600min srážce typu C, 1080min srážce typu B a 2880min srážce typu D. Při zbylých návrhových 5letých srážkách byla kulminace přetečení nižší než kulminace odtoku před stavbou. Nejvyšší kulminace přetečení získaná Clarkovým UH modelem ($0,030 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla během

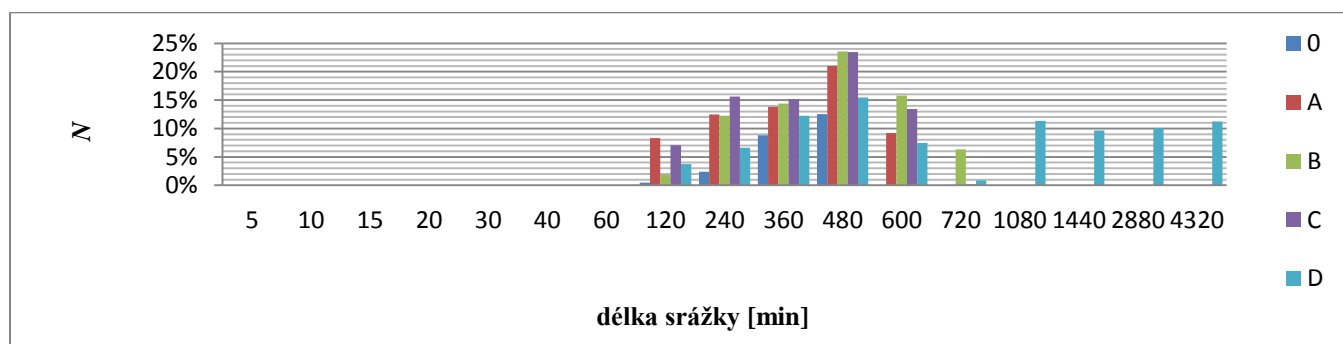
1080 min srážky typu D. Výpočty trojúhelníkovým UH modelem vedou k hodnotě největšího přetečení ($0,034 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) ze vsakovací nádrže během 480min srážky typu B.

Obr. 24: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 5leté srážky, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model

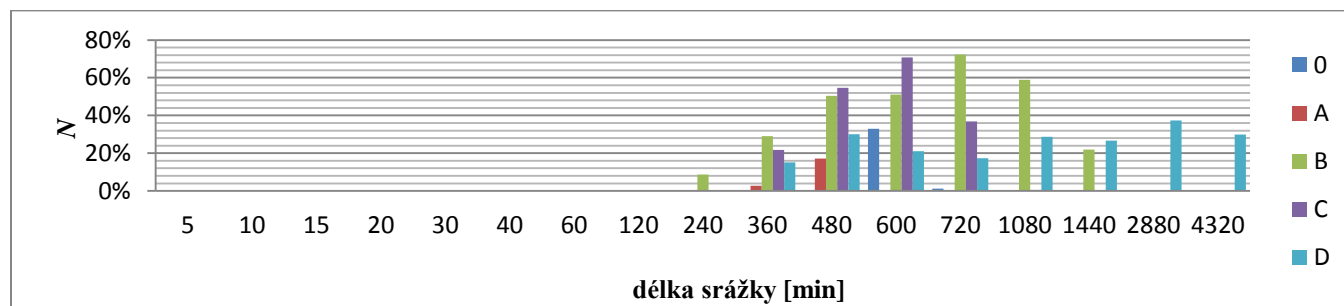


Vývoj poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou (značeno jako N) je ukázán na obr. 25 a obr. 26. Hodnota N je 100 %, pokud je objem přetečení a objem odtoku před stavbou stejný. Z obr. 25 je patrné, že nejvyšší hodnota N byla Clarkovým UH modelem získána při 480min srážce typu B (24 % celkového objemu odtoku z nezastaveného povrchu před zastavením povrchu). Nejvyšší hodnota N zjištěná trojúhelníkovým UH modelem (72 %) byla při 720min srážce typu B.

Obr. 25: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 5leté srážky, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model



Obr. 26: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 5leté srážky, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model



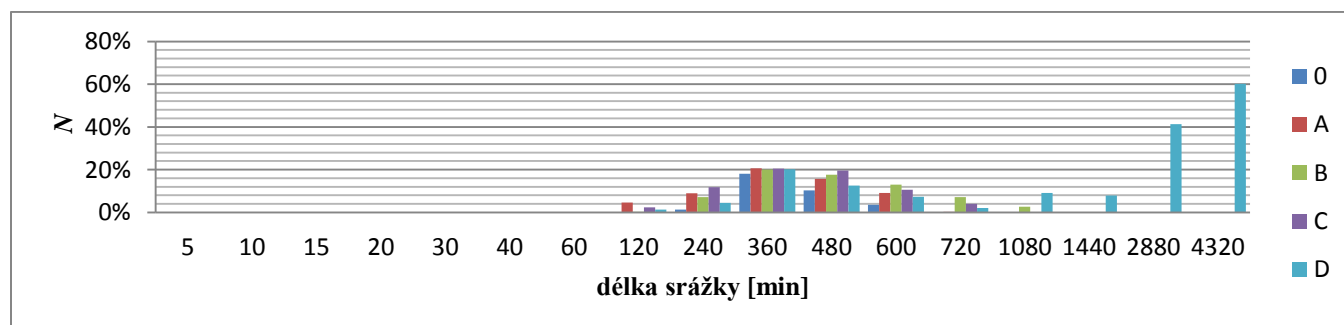
5.3.2 10leté úhrny srážek

V případě návrhových 10letých srážek byla kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení vyšší než kulminace odtoku z území před stavbou (Clarkův UH model) pouze během 2880min srážky typu D. Kladný rozdíl M byl $0,00047 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Hodnota M zjištěná trojúhelníkovým UH modelem byla kladná ($0,0088 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) pouze při 360min srážce typu 0.

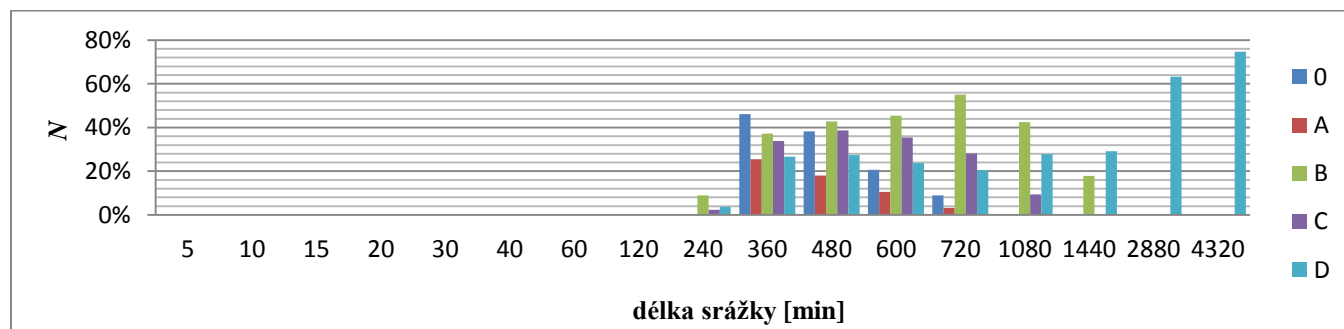
Nejvyšší kulminace přetečení ($0,042 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla Clarkovým UH modelem vypočtena během 2880min srážky typu D, trojúhelníkovým UH modelem během 480min srážky typu D ($0,031 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Nejvyšší hodnota N , tj. poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou, byla oběma modely zjištěna v případě návrhové 4320min srážky typu D ($N = 60\%$; Clarkův UH model). (75% ; trojúhelníkový UH model) Časový vývoj hodnoty N je znázorněn na obr. 27 a obr. 28.

Obr. 27: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 10leté srážky, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model



Obr. 28: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 10leté srážky, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model

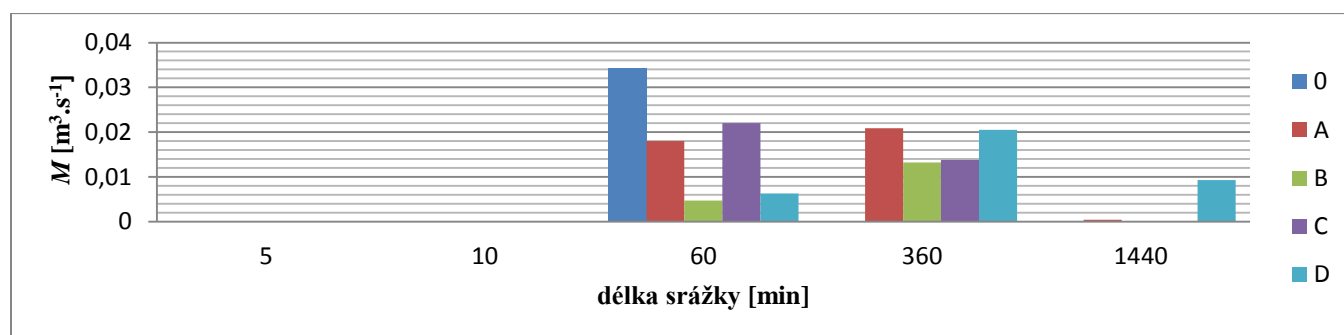


5.3.3 100leté úhrny srážek

Nejvyšší hodnota M ($0,034 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla zjištěna z výsledků Clarkova UH modelu během 60min srážky typu 0 a její časový vývoj je zobrazen na obr. 29. Dle výsledků vypočtených trojúhelníkovým UH modelem byla kulminace přetečení vyšší než odtok před stavbou ($M = 0,00032 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) jen během 1440min srážky typu D.

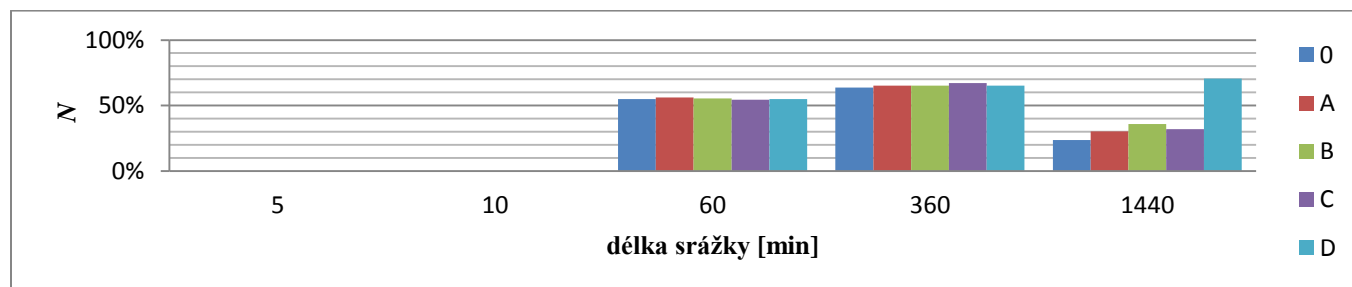
Nejvyšší kulminace přetečení dle výpočtů obou modelů nastala během 360min srážky typu D (dle Clarkova UH modelu $0,17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; dle trojúhelníkového UH modelu $0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Obr. 29: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model

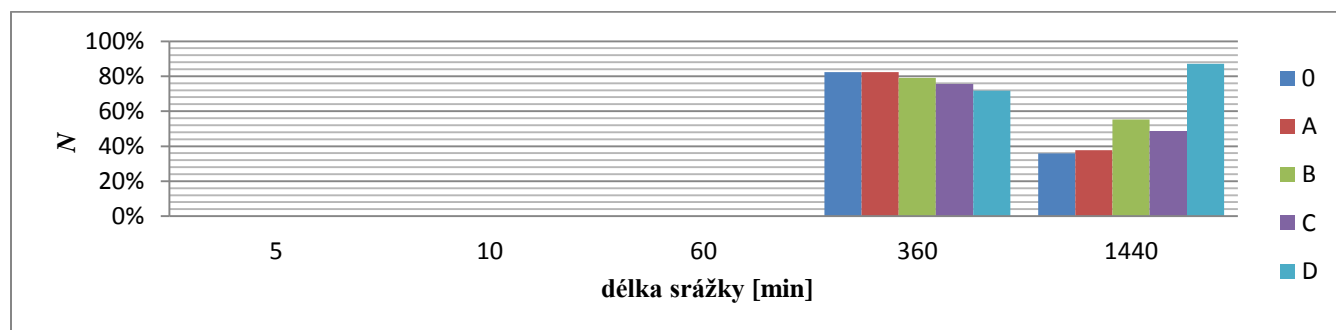


Oba modely shodně ukazují, že nejvyšší hodnota N byla při 1440min srážce typu D (Clarkův UH model $N = 71 \%$; trojúhelníkový UH model $N = 87\%$). Závislost N na délce a průběhu srážky je znázorněna na obr. 30 a obr. 31.

Obr. 30: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou *N* na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model



Obr. 31: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou *N* na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model

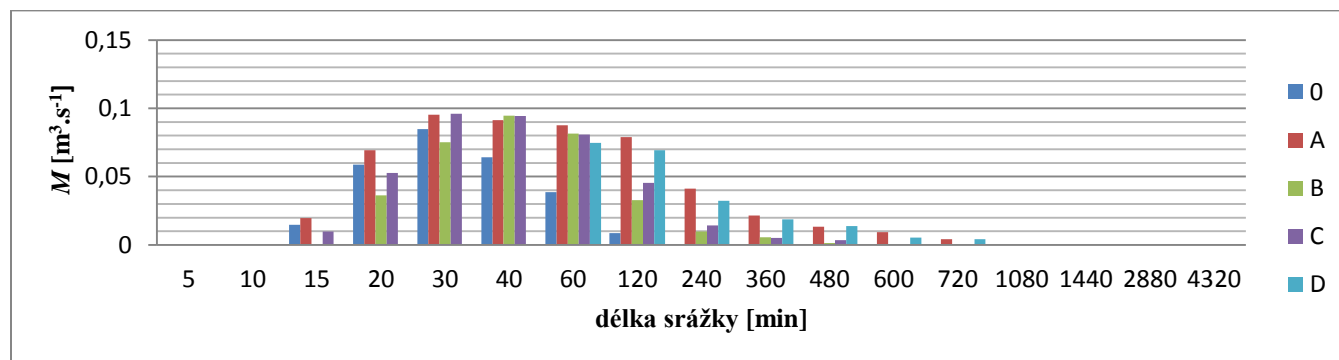


5.3.4 Maximální úhrny srážek

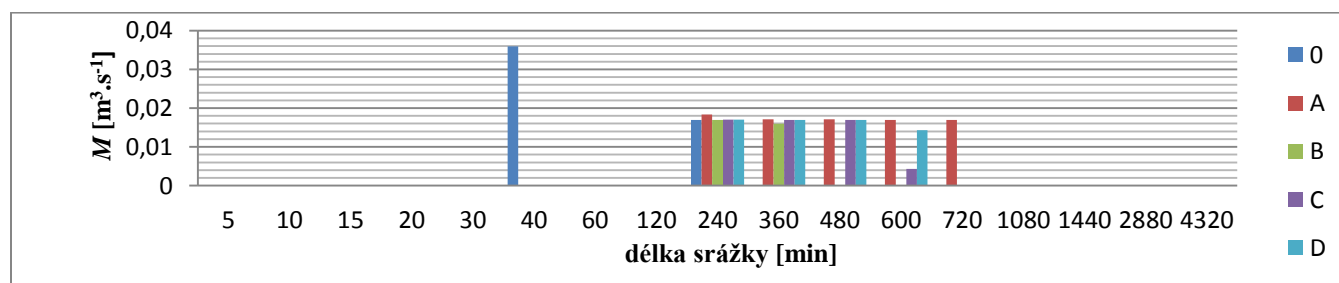
Nejvyšší hodnota kladného rozdílu kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení a kulminace odtoku z území před stavbou ($M = 0,096 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla Clarkovým UH modelem získána při hodnocení 30min srážky typu C. Časový průběh hodnoty M (Clarkův UH model) je znázorněn na obr. 32. Z výsledků výpočtů trojúhelníkového UH modelu byla nejvyšší hodnota M ($0,036 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) zjištěna (obr. 33) během 40min srážky typu 0.

Nejvyšší kulminace přetečení ($0,40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) nastala podle výsledků Clarkova UH modelu během 240min srážky typu D; podle výsledků trojúhelníkového UH modelu během 240min srážky typu D ($0,62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Obr. 32: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model



Obr. 33: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model

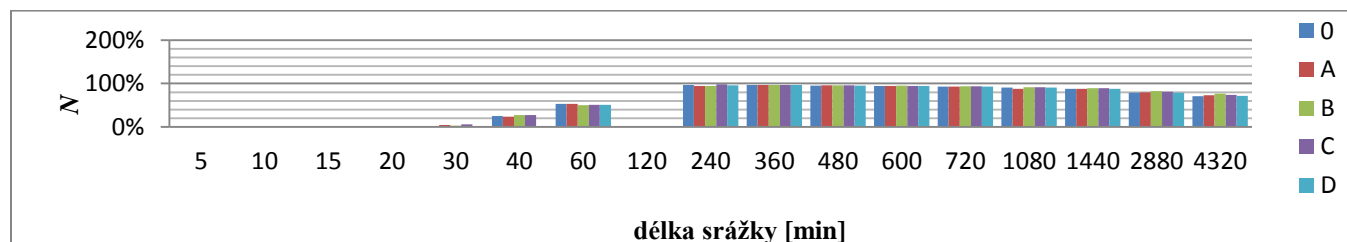


Nejvyšší hodnota N byla určena při 240min srážce typu C (96 %; Clarkův UH model) (obr. 34) (98 %; trojúhelníkový UH model) (obr. 35).

Obr. 34: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model



Obr. 35: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model



5.4 Zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ

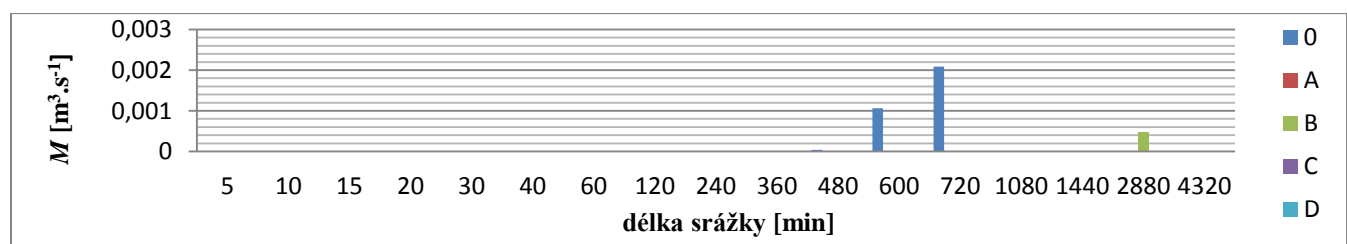
5.4.1 5leté úhrny srážek

Z výpočtů Clarkova UH modelu vyplývá, že kladný rozdíl M (obr. 36) ($0,0013 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) kulminace přetečení sítě a odtoku z území před stavbou byl nejvyšší při 600min srážce typu B. Nejvyšší kladný rozdíl M (obr. 37) ($0,0021 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) kulminace přetečení sítě a odtoku z území před stavbou podle výpočtů trojúhelníkovým modelem byl při 720 min srážce typu 0.

Obr. 36: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 5leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model



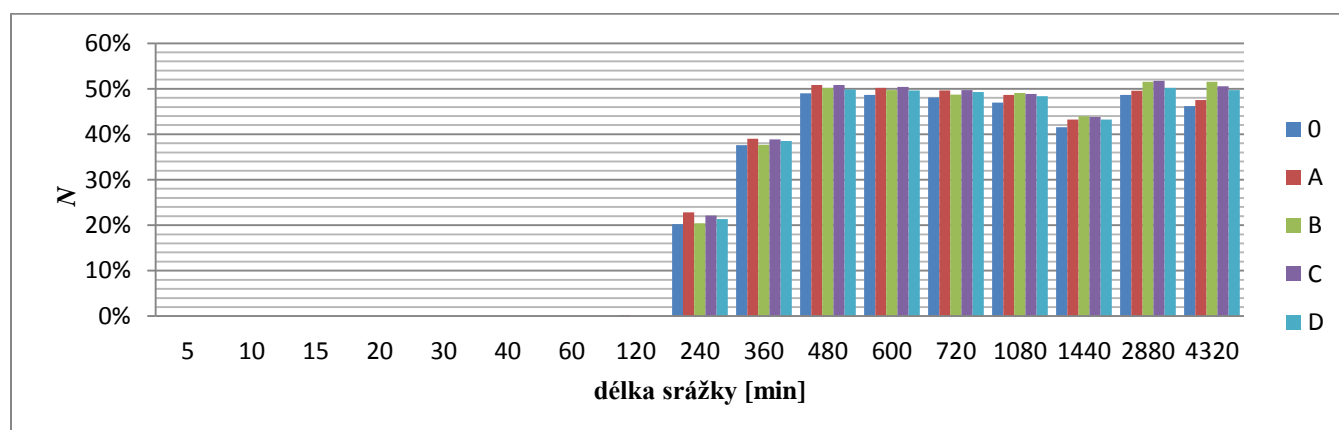
Obr. 37: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model



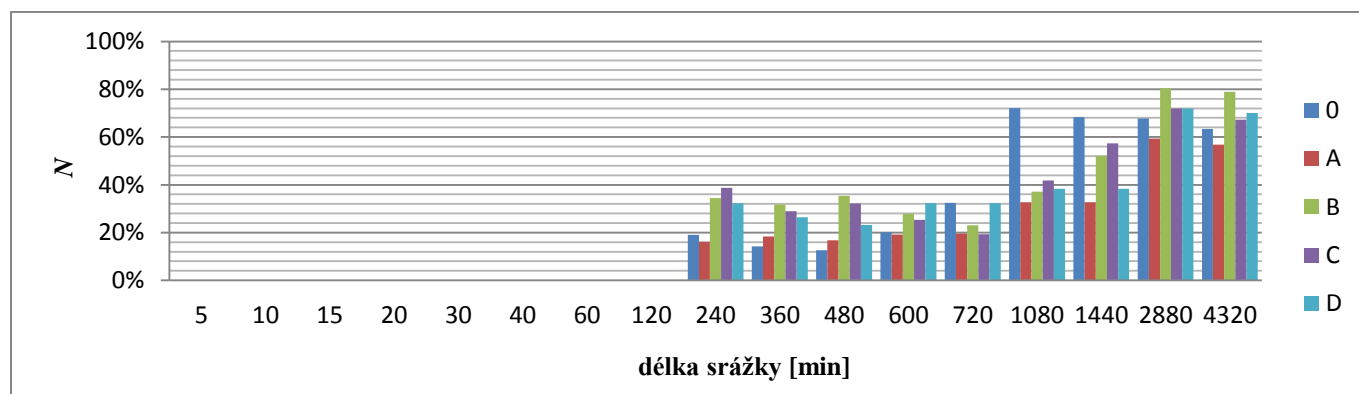
Nejvyšší kulminace přetečení ($0,0080 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) vypočtená Clarkovým UH modelem nastala při 480min srážce typu B. Z výpočtů trojúhelníkovým UH modelem vyplývá, že nejvyšší kulminace přetečení ze vsakovací nádrže ($0,013 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla shodně při 240min srážkách průběhu B a C.

Závislost N na délce a typu srážky vypočtená Clarkovým UH modelem je znázorněna na obr. 38, nejvyšší hodnota (52 %) byla zjištěna při 2880min srážce typu C. Nejvyšší hodnota N (80 %) byla trojúhelníkovým UH modelem vypočtena při 2880min srážce průběhu B, časový průběh viz obr. 39.

Obr. 38: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 5leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model



Obr. 39: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 5leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model

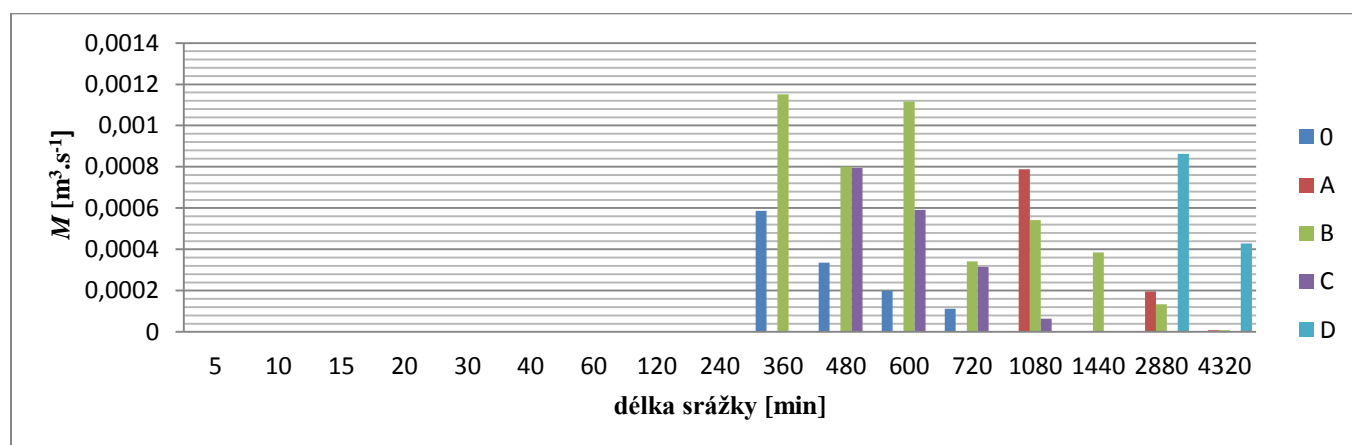


5.4.2 10leté úhrny srážek

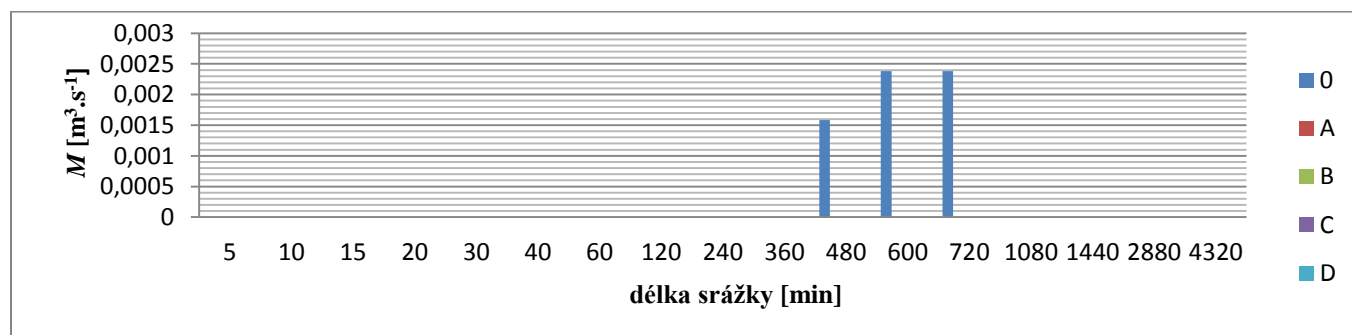
Nejvyšší kladný rozdíl ($M = 0,0012 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení a kulminace odtoku před stavbou byl Clarkovým UH modelem vypočten při 360min srážce typu B (viz obr. 40). Podle výpočtů trojúhelníkovým UH modelem (obr. 41) nastal nejvyšší kladný rozdíl kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení a kulminace odtoku před stavbou shodně při 600min a 720min srážce typu 0 ($M = 0,0024 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Nejvyšší kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení ($0,012 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla Clarkovým UH modelem vypočtena po 2880min srážce typu D, trojúhelníkovým modelem byla nejvyšší kulminace přetečení ($0,016 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) vypočtena po 240min srážce typu B.

Obr. 40: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 10leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model

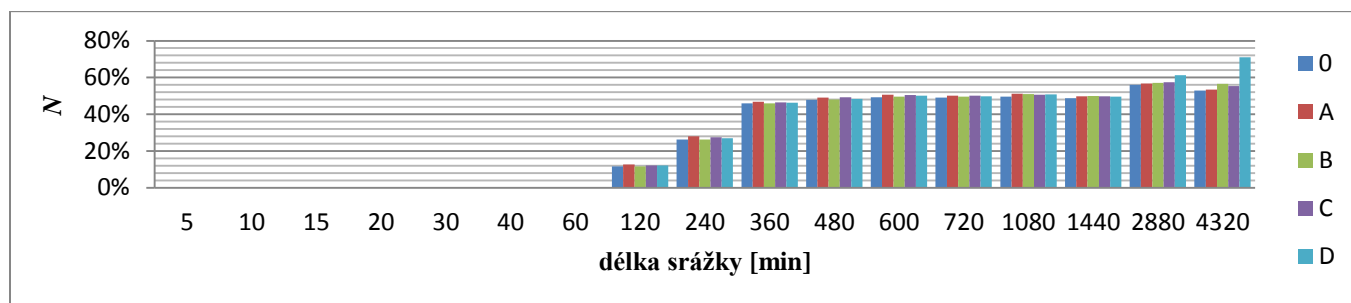


Obr. 41: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 10leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model

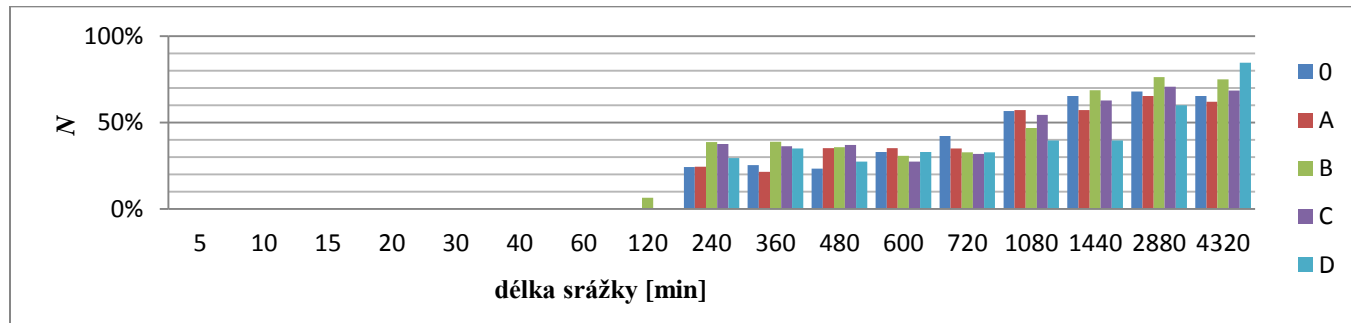


Nejvyšší hodnota N (71 %) je zobrazena na obr. 42, byla vypočtena Clarkovým UH modelem při 4320min srážce typu D. Pro tutéž srážku byla vypočtena nejvyšší hodnota N (85 %) i trojúhelníkovým UH modelem, (obr. 43).

Obr. 42: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 10leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model



Obr. 43: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 10leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model



5.4.3 100leté úhrny srážek

Nejvyšší kladný rozdíl ($M = 0,0028 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení a kulminace odtoku před stavbou byl ze 100letých úhrnů srážek Clarkovým UH modelem vypočten při 1440min srážce typu D, obr. 44. Trojúhelníkovým UH modelem byl kladný rozdíl ($M = 0,0021 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení a kulminace odtoku před stavbou vypočten pouze při 1440min srážce typu D.

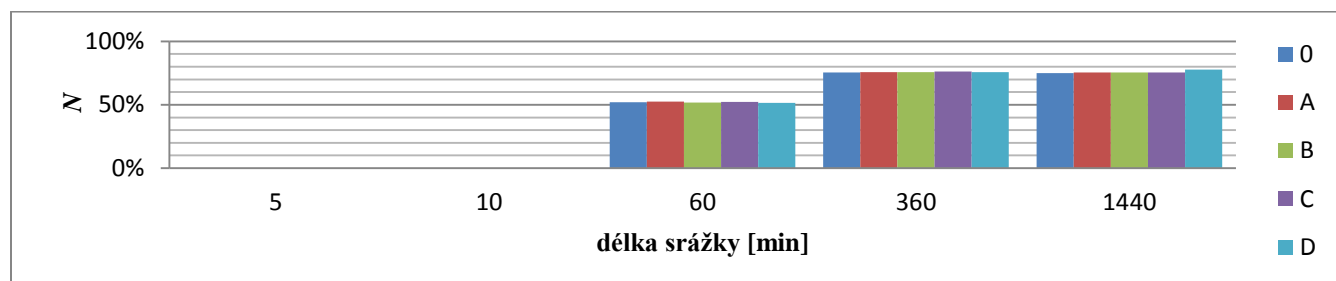
Nejvyšší kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení byla oběma modely vypočtena při 360min srážce typu D ($0,028 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, Clarkův UH model; $0,049 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, trojúhelníkový UH model).

Obr. 44: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model

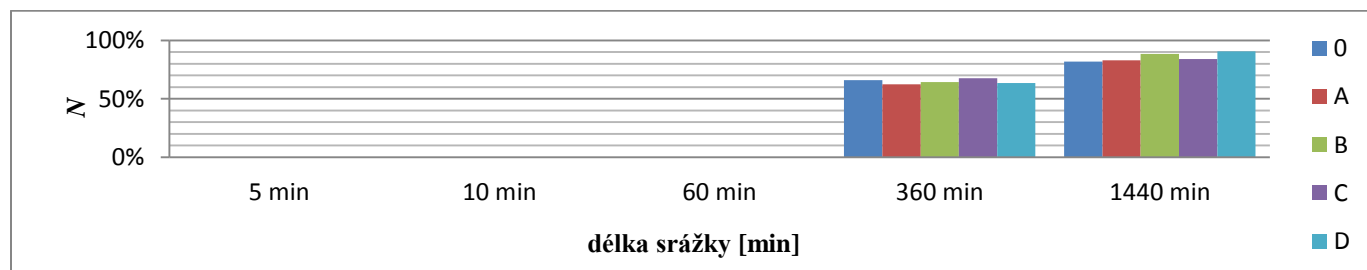


Nejvyšší hodnota poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N byla oběma modely vypočtena při 1440min srážce typu D (78 %, Clarkův UH model; 90 %, trojúhelníkový UH model). Závislost N na délce a typu srážky vypočtená Clarkovým UH modelem je zobrazena na obr. 45 a závislost N na délce a typu srážky vypočtena trojúhelníkovým UH modelem je znázorněna na obr. 46.

Obr. 45: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 100leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model



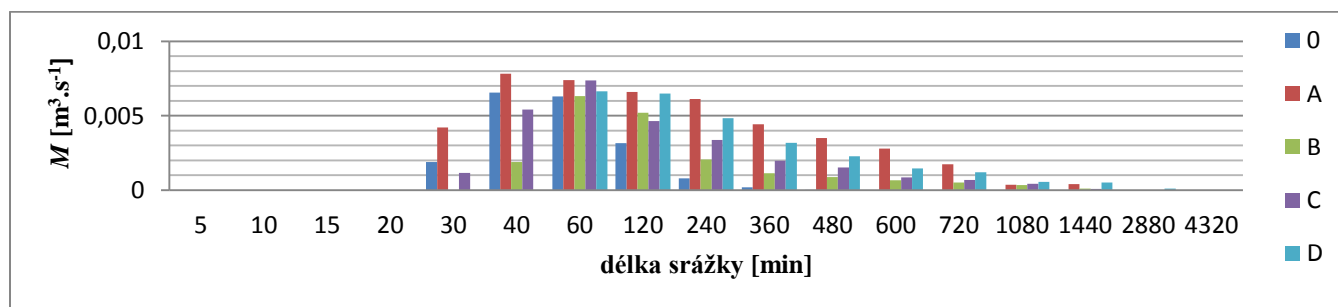
Obr. 46: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu 100leté srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model



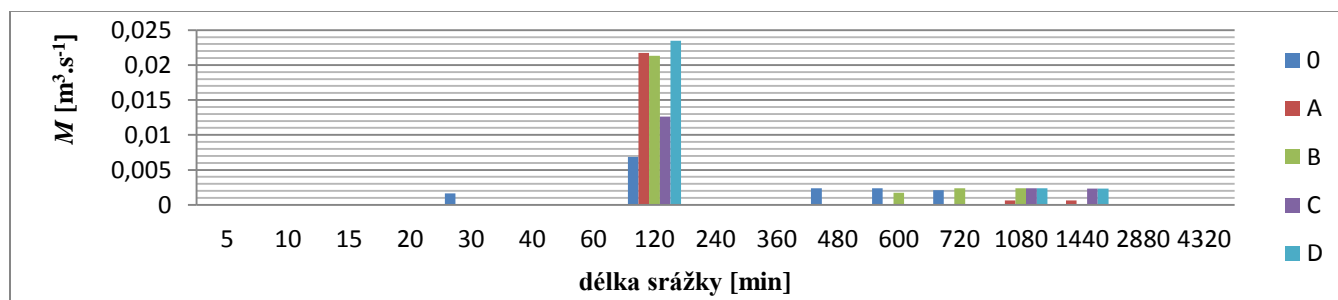
5.4.4 Maximální úhrny srážek

V případě návrhových maximálních srážek byl nejvyšší kladný rozdíl ($M = 0,0078 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení a kulminace odtoku před stavbou vypočten Clarkovým UH modelem při 40min srážce typu A, viz obr. 47. Trojúhelníkovým UH modelem byla nejvyšší hodnota M ($0,023 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) vypočtena při 120min srážce typu D (obr. 48).

Obr. 47: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model



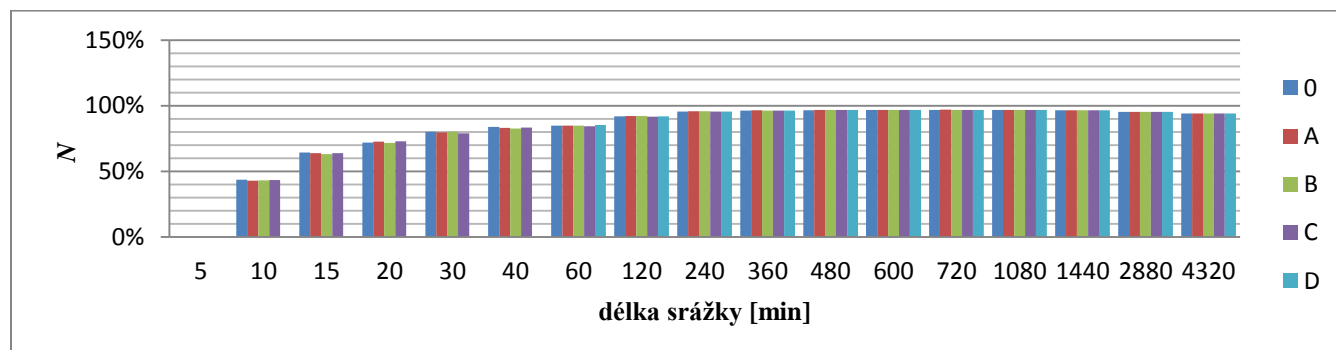
Obr. 48: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model



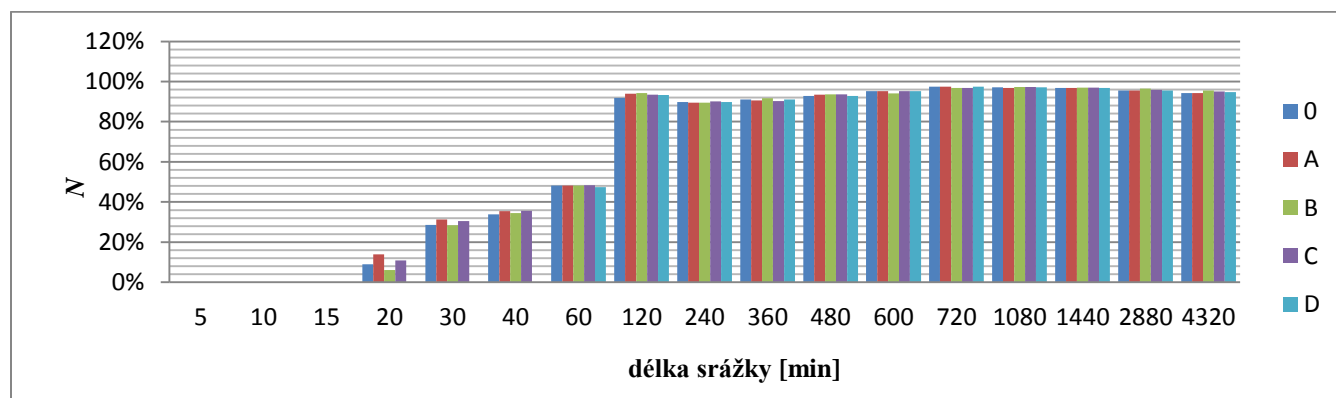
Nejvyšší kulminace přetečení ($0,068 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla Clarkovým UH modelem zjištěna při 480min srážce typu D; trojúhelníkovým UH modelem byla nejvyšší kulminace ($0,17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) zjištěna při 240min srážce průběhu D.

Nejvyšší hodnota N vypočtená Clarkovým UH modelem (97 %), viz obr. 49, byla při 600min srážce typu A. Trojúhelníkovým UH modelem byla nejvyšší hodnota N (98 %) získána při 720min srážkách průběhu 0 a D, obr. 50.

Obr. 49: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu maximální srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model



Obr. 50: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu maximální srážky, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model



5.5 Zájmové území BYTY SEMMERING

5.5.1 5leté úhrny srážek

Pro všechny navržené 5leté srážek nebyla kulminace přetečení vyšší než kulminace odtoku před stavbou (shodně oba modely). Nebyla proto počítána ani hodnota N , neboť objem přetečení je ve všech případech nižší než objem odtoku před stavbou (kulminace přetečení je nižší než odtok před stavbou a délka trvání přetečení je kratší než délka trvání odtoku před stavbou). K nejvyšší kulminaci přetečení ($0,11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) došlo dle výpočtů Clarkovým UH modelem při 720min srážce typu D. Trojúhelníkovým UH modelem byla nejvyšší kulminace přetečení ($0,024967 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) zjištěna při 60min srážce typu B.

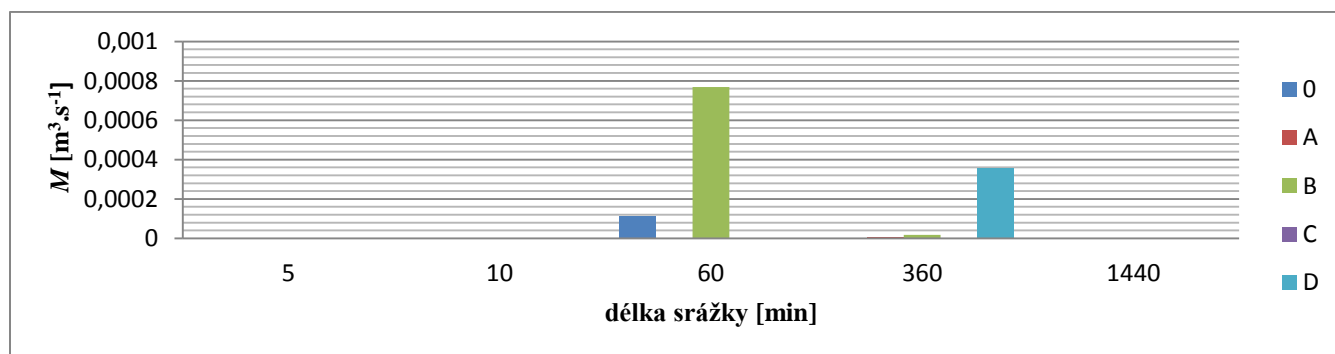
5.5.2 10leté úhrny srážek

Kulminace přetečení byla nižší než kulminace odtoku před stavbou pro srážky všech délek a typů dle výpočtů Clarkovým UH modelem i trojúhelníkovým UH modelem. Proto nebyla hodnota N počítána. Výsledky Clarkova UH modelu ukázaly, že k nejvyšší kulminaci přetečení ($0,015 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) došlo při 720min srážce typu D; podle výpočtů trojúhelníkovým UH modelem byla nejvyšší kulminace přetečení ($0,032 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) při 40min srážce průběhu B.

5.5.3 100leté úhrny srážek

Nejvyšší kladný rozdíl ($M = 0,00077 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) kulminace přetečení a kulminace odtoku před stavbou byl z výpočtů Clarkovým UH modelem zjištěn při 60min srážce typu B, obr. 51. Kulminace přetečení vypočtené trojúhelníkovým UH modelem jsou při srážkách všech délek trvání a typů nižší než kulminace odtoků před stavbou.

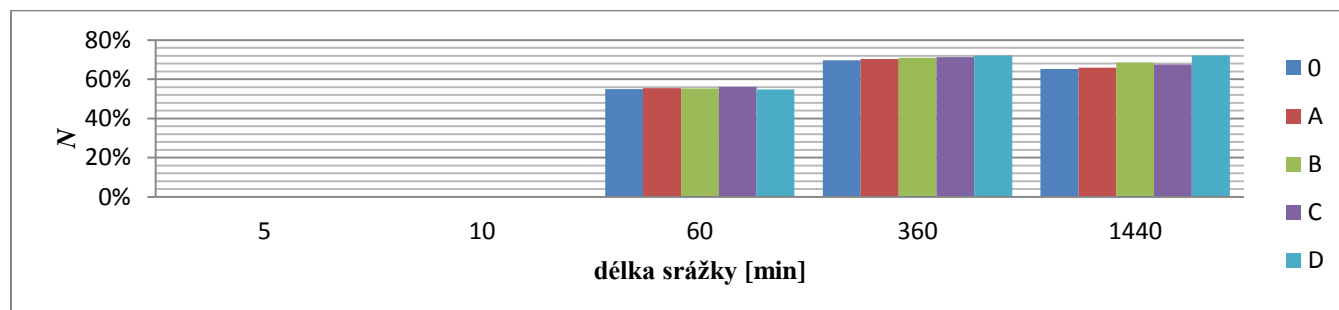
Obr. 51: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území BYTY SEMMERING, Clarkův UH model



K největší kulminaci přetečení ($0,041 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) ze vsakovací nádrže došlo podle výpočtů v Clarkově UH modelu při 360min srážce typu D, podle výpočtů v trojúhelníkovém UH modelu při 60min srážce průběhu D ($0,12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Nejvyšší poměr (72,1 %) objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N vypočtený Clarkovým UH modelem byl zjištěn při 1440min srážce typu D, obr. 52. Hodnota N z výsledků získaných z trojúhelníkového UH modelu nebyla zjišťována, neboť objem přetečení je ve všech případech nižší než objem odtoku před stavbou.

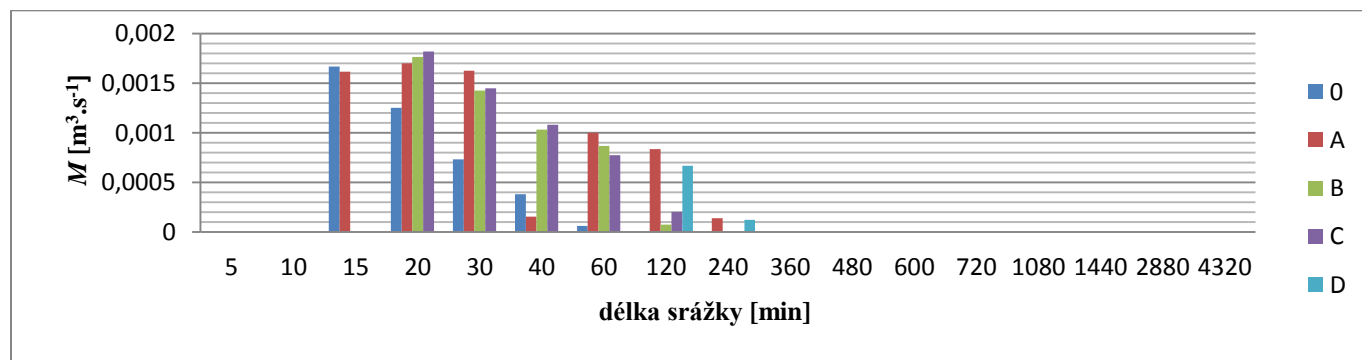
Obr. 52: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území BYTY SEMMERING, Clarkův UH model



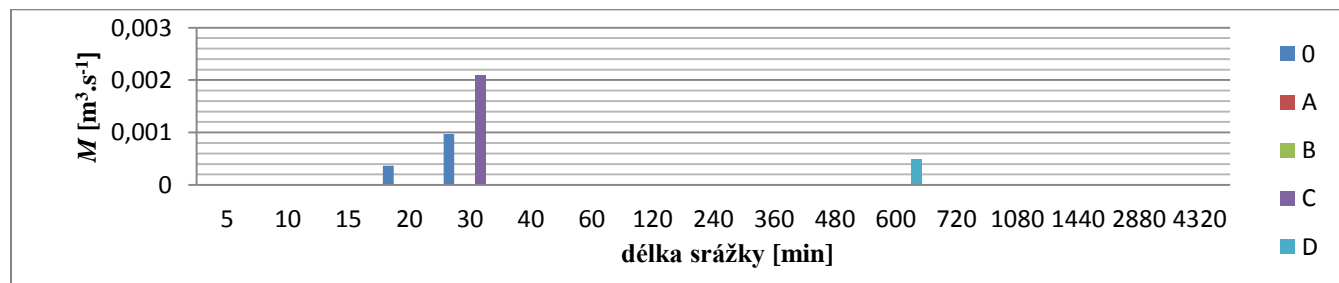
5.5.4 Maximální úhrny srážek

Kladný rozdíl kulminace přetečení z výsledků výpočtů získaných Clarkovým UH modelem byl nejvyšší ($M = 0,0019 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) při 20min srážce typu C, viz obr. 53. Z výpočtů trojúhelníkovým UH modelem byla nejvyšší hodnota M ($0,0021 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) zjištěna při 30min srážce typu C, obr. 54.

Obr. 53: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území BYTY SEMMERING, Clarkův UH model



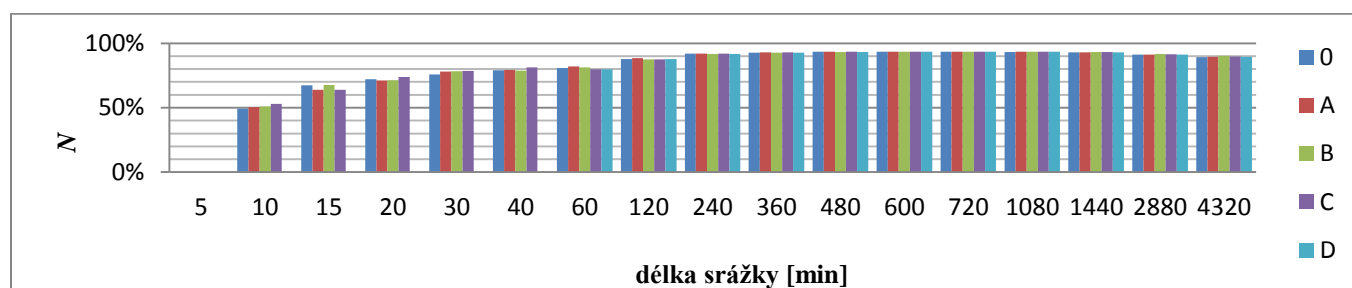
Obr. 54: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území BYTY SEMMERING, trojúhelníkový UH model



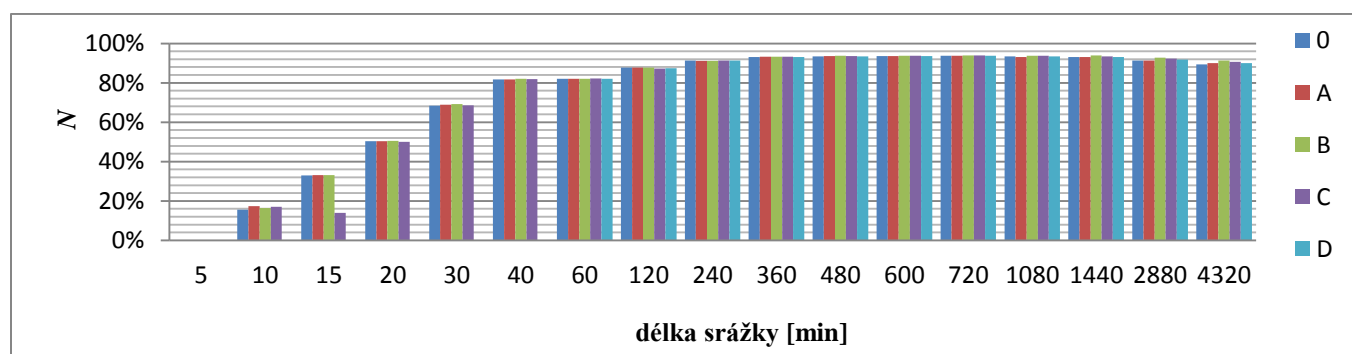
Nejvyšší kulminace přetečení ($0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla z výsledků výpočtů Clarkovým UH modelem zjištěna při 30min srážce typu B, při 40min srážce typu B byla zjištěna nejvyšší kulminace přetečení ($0,23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) z výsledků výpočtů trojúhelníkovým UH modelem.

Nejvyšší hodnota N (94 %) z výsledků Clarkova UH modelu byla zjištěna při 720min srážce typu A, obr. 55. Trojúhelníkovým UH modelem byla zjištěna nejvyšší kulminace (94 %) při 1440min srážce typu B, obr. 56.

Obr. 55: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území BYTY SEMMERING, Clarkův UH model



Obr. 56: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území BYTY SEMMERING, trojúhelníkový UH model



5.6 Zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby

5.6.1 5leté úhrny srážek

Z výsledků výpočtů získaných Clarkovým UH modelem i trojúhelníkovým UH modelem vyplývá, že pro žádný typ návrhové 5leté srážky nebyla kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení vyšší než kulminace odtoku z území před stavbou.

Nejvyšší kulminace přetečení ($0,011 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) z výsledků získaných Clarkovým UH modelem nastala při 480min srážce průběhu D. Podle výsledků získaných trojúhelníkovým UH modelem byla nejvyšší kulminace přetečení ($0,011 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) při 480min srážce průběhu B.

Poměr N objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou nebyl hodnocen, neboť kulminace přetečení byla při všech srážkách nižší než kulminace odtoku před stavbou (a poměr N byl nižší než 100 %).

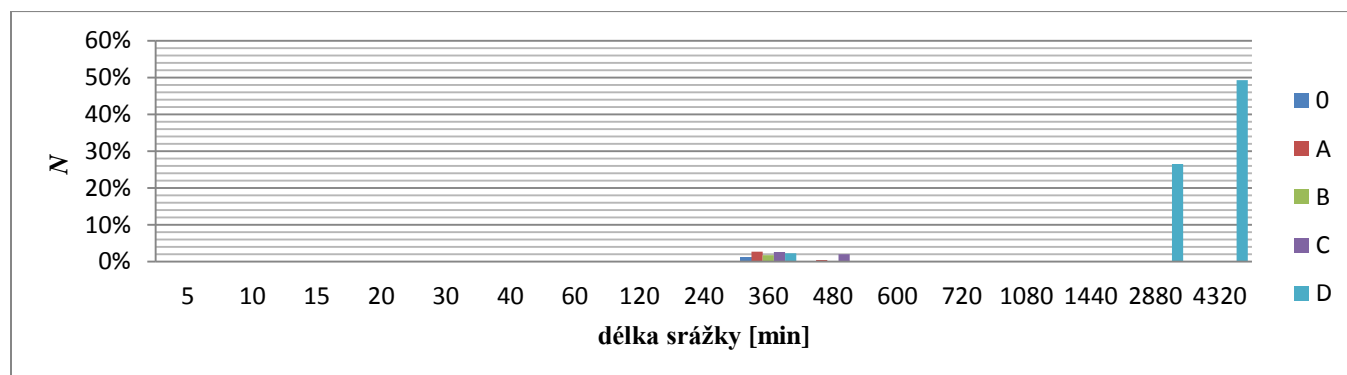
5.6.2 10leté úhrny srážek

Kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení vyšší než kulminace odtoku z území před stavbou byla dle výsledků získaných Clarkovým UH modelem pouze při 2880min srážce typu D ($M = 0,0011 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Hodnoty M získané trojúhelníkovým UH modelem byly pro všechny délky a typy srážek záporné.

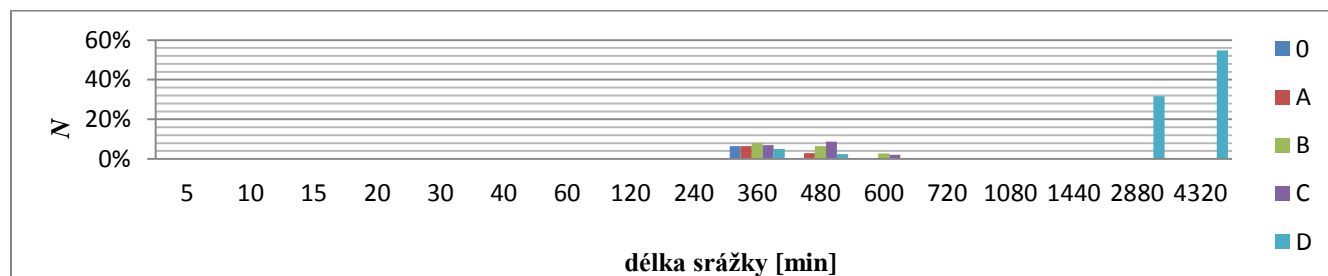
Nejvyšší kulminace přetečení ($0,040 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) podle výsledků Clarkova UH modelu nastala při 2880min srážce typu D. Trojúhelníkovým UH modelem byla nejvyšší kulminace přetečení ($0,017 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) zjištěna při 4320min srážce průběhu D.

Nejvyšší hodnota byla modely získána při hodnocení 4320min srážky typu D ($N = 49 \%$, Clarkův UH model; $N = 55 \%$, trojúhelníkový UH model) (obr. 57 a obr. 58)

Obr. 57: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 10leté srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model



Obr. 58: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové 10leté srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model



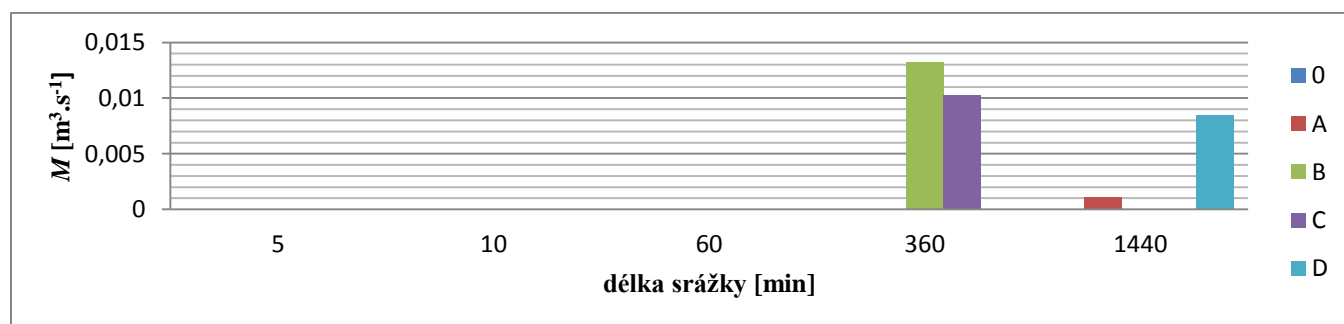
5.6.3 100leté úhrny srážek

Kladný rozdíl kulminace přetečení a odtoku před stavbou (obr. 59) byl dle výsledků výpočtů z Clarkova UH modelu nejvyšší ($M = 0,013 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) při 360min srážce typu B. Hodnota M odvozená z výpočtů trojúhelníkovým modelem nebyla kladná při žádné srážce (kromě nejasně definovaných hodnot, viz kapitola 6.).

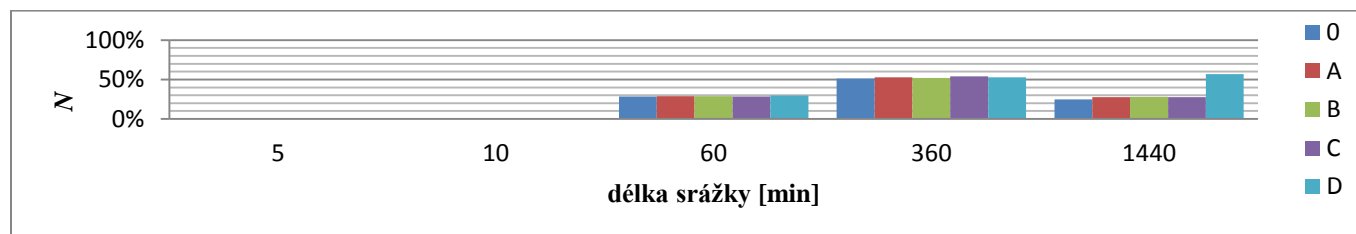
Bylo zjištěno, že nejvyšší kulminace přetečení ze vsakovací nádrže nastává podle obou modelů během 360min srážky typu D ($0,14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, Clarkův UH model; $0,077 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, trojúhelníkový model).

Závislost poměru objemu objemu přetečení a objemu odtoku před stavbou N byla dle výsledků získaných oběma hodnocenými UH modely nejvyšší při 1440min srážce typu D. Hodnota N dle Clarkova UH modelu byla 57 % (obr. 60), dle trojúhelníkového UH modelu 63 % (obr. 61).

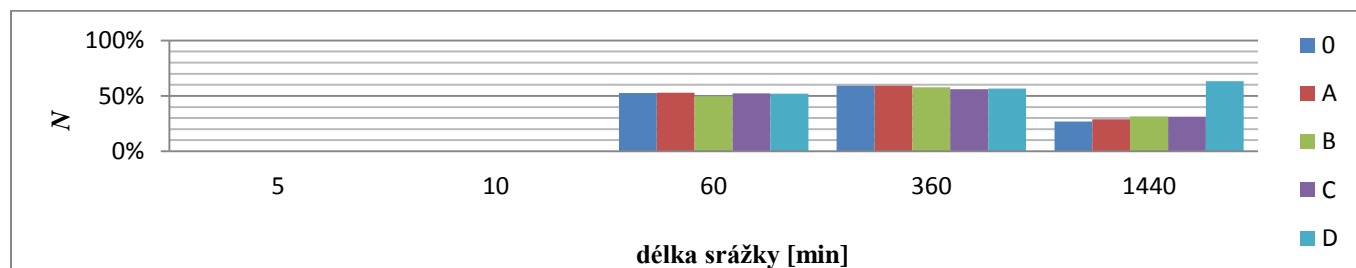
Obr. 59: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model



Obr. 60: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou *N* na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model



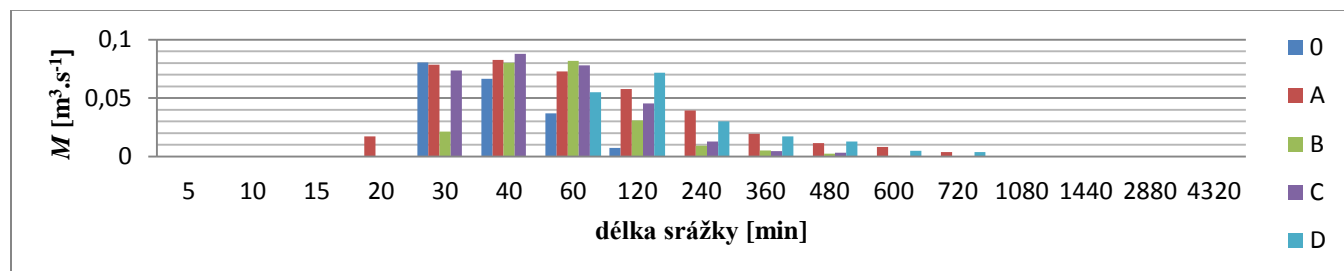
Obr. 61: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou *N* na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model



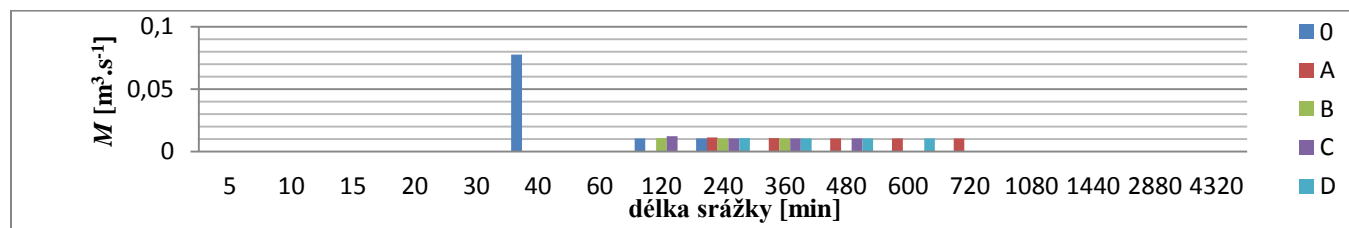
5.6.4 Maximální úhrny srážek

Nejvyšší hodnota M ($0,088 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla dle výsledků Clarkova UH modelu při 40min srážce typu C (obr. 62). Trojúhelníkový UH model přiřadil nejvyšší hodnotu M ($0,078 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) 40min srážce typu 0, obr. 63.

Obr. 62: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model



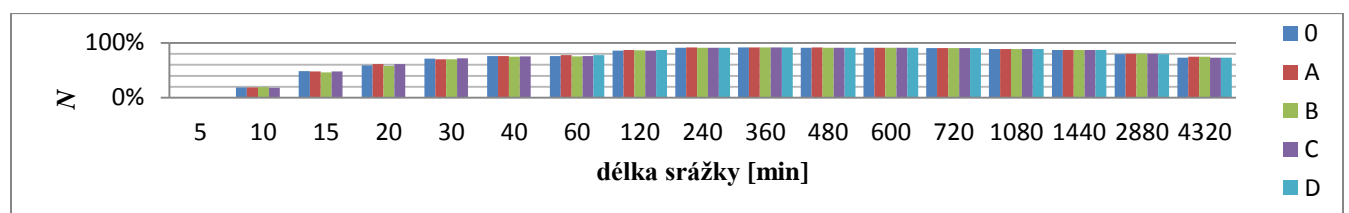
Obr. 63: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model



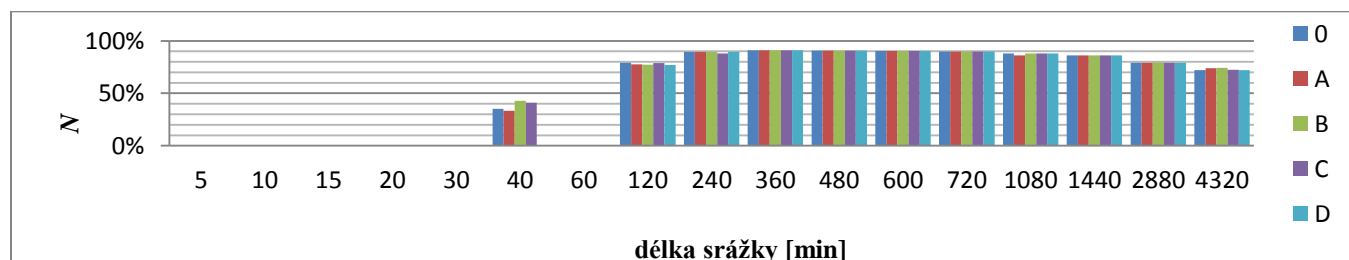
Výsledky výpočtů Clarkova UH modelu ukázaly, že k nejvyšší kulminaci přetečení ($0,40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) došlo během 40min srážky typu B. Dle výsledků trojúhelníkového modelu došlo k nejvyšší kulminaci přetečení ($0,69 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) při 120min srážce typu D.

Nejvyšší hodnota N (91%), obr. 64, byla vypočtena Clarkovým UH modelem pro 240min srážku typu A. Vývoj hodnoty N vypočtené trojúhelníkovým UH modelem je ukázán na obr. 65. Nejvyšší hodnota N (91,1 %) byla přiřazena 360min srážkám všech typů.

Obr. 64: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model



Obr. 65: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model



5.7 Zájmové území PALÁČ STROMOVKA, ekologická varianta stavby

5.7.1 5leté úhrny srážek

Dle výpočtů Clarkovým UH modelem nedošlo při žádné srážce 5letého opakování k přetečení ze vsakovacího zařízení. Výpočty v trojúhelníkovém UH modelu vedou k přetečení ze vsakovacího zařízení pouze při 4320min srážce typu D. Kulminace této srážky ($0,0021 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla nižší než kulminace odtoku před stavbou.

Závislost poměru N objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou na délce a typu návrhové srážky Clarkovým UH modelem nebyla hodnocena. Výpočty trojúhelníkovým UH modelem přiřadily kladný poměr N (9 %) pouze 4320min srážce typu D.

5.7.2 10leté úhrny srážek

Z výsledků výpočtů získaných hodnocenými modely vyplývá, že kulminace přetečení nebyla při žádné hodnocené srážce vyšší než kulminace odtoku před stavbou. Nebyla proto hodnocena N na délce a typu srážky.

Nejvyšší kulminace přetečení ($0,038 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) získaná Clarkovým UH modelem byla při 2880min srážce typu D. Trojúhelníkovým UH modelem byla nejvyšší kulminace přetečení ($0,013 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) zjištěna při 4320min srážce průběhu D.

5.7.3 100leté úhrny srážek

Dle výpočtů získaných Clarkovým UH modelem byla hodnota M ($0,00061 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) kladná pouze při 1440min srážce typu D. Výsledky výpočtů trojúhelníkovým UH modelem vedou k závěru, že kulminace přetečení byla při všech hodnocených srážkách nižší než kulminace odtoku před stavbou.

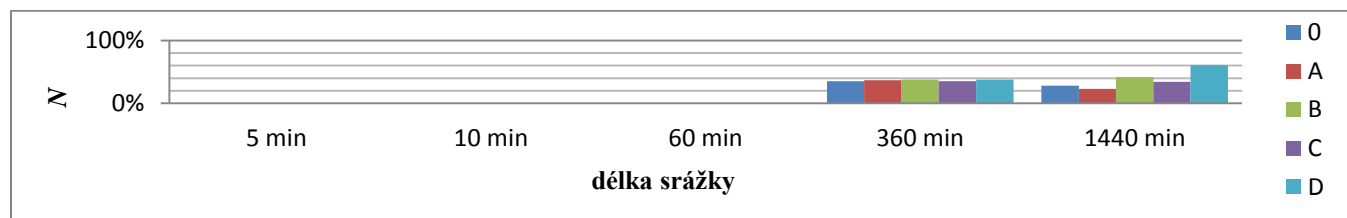
Při 1440min srážce typu D došlo dle výpočtů Clarkovým UH modelem k nejvyšší kulminaci přetečení ($0,11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) ze vsakovací nádrže. Dle výpočtů trojúhelníkovým UH došlo k nejvyšší kulminaci přetečení ($0,063 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) při 360min srážce typu D.

Z výpočtů modelů je patrné, že nejvyšší poměr (objemu přetečení a objemu odtoku před stavbou) byl při 1440min srážce typu D ($N = 47 \%$ dle Clarkova UH modelu (obr. 66); $N = 61 \%$ dle trojúhelníkového UH modelu (obr. 67)).

Obr. 66: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou *N* na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území *PALÁC STROMOVKA*, ekologická varianta stavby, Clarkův UH model



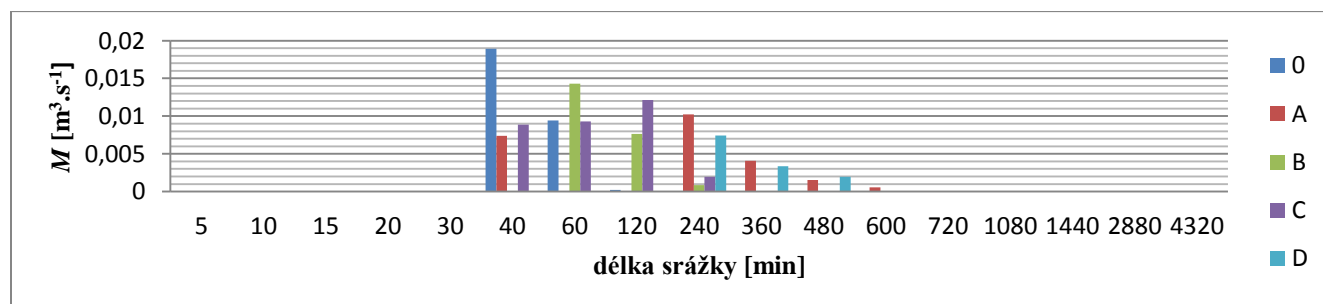
Obr. 67: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou *N* na délce a typu návrhové 100leté srážky, zájmové území *PALÁC STROMOVKA*, ekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model



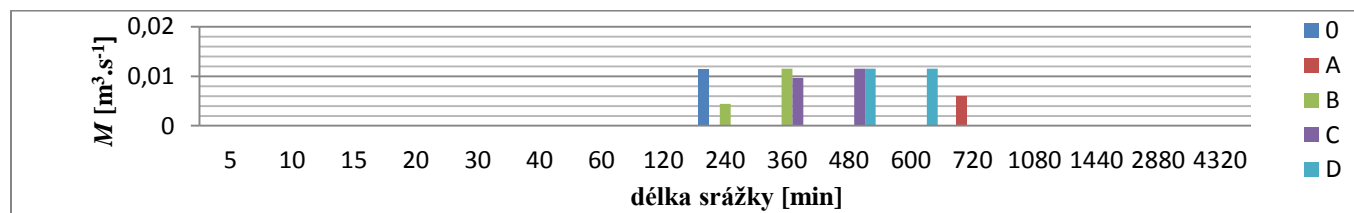
5.7.4 Maximální úhrny srážek

Z výpočtů Clarkovým UH modelem vyplývá, že M nabyla nejvyšší hodnoty ($0,019 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) při 40min srážce typu 0 (obr. 68). Hodnota M vypočtená trojúhelníkovým UH modelem byla shodně nejvyšší ($0,0012 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) při 240min srážce typu 0, 360min srážce typu B, 480min srážce typu C a D a 600min srážce typu D, obr. 69.

Obr. 68: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou *M* na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území *PALÁC STROMOVKA*, ekologická varianta stavby, Clarkův UH model



Obr. 69: Závislost hodnoty kladného rozdílu kulminace přetečení a odtoku před stavbou M na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model



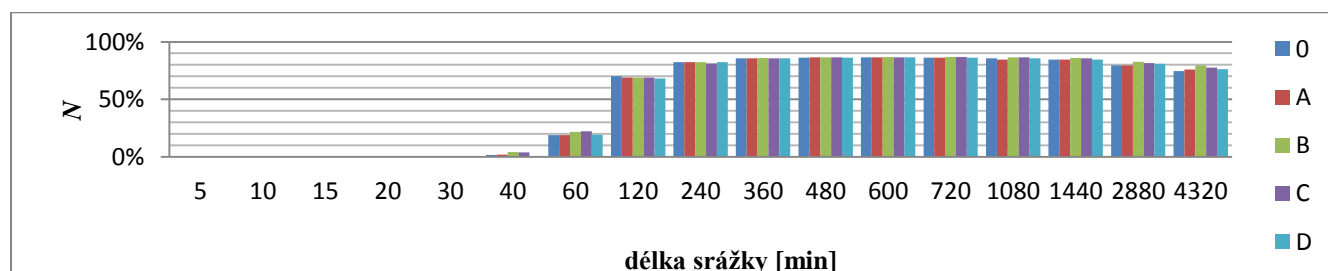
K nejvyšší kulminaci přetečení ($0,37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) dle Clarkova UH modelu došlo při 240min srážce průběhu D. Z výsledků výpočtů trojúhelníkovým UH modelem vyplývá, že k nejvyšší kulminaci přetečení ($0,61 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) došlo při 120min srážce průběhu D.

Nejvyšší hodnota N (86 %), obr. 70, byla Clarkovým UH modelem vypočtena při 600min srážce průběhu A. Nejvyšší hodnota N (87 %) byla při stejné srážce zjištěna i trojúhelníkovým UH modelem, (obr. 71).

Obr. 70: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model



Obr. 71: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model



6. Shrnutí výsledků a diskuze

Práce se zabývá ověřením normy ČSN 75 9010 na modelových urbanizovaných územích. Norma je dimenzovaná pro srážky o n – letosti 5 a 10 let a neřeší, zda nedojde ke zhoršení odtokových poměrů při extrémnějších srážkových událostech. Toto ověření bylo jedním z hlavních cílů práce. K ověření bylo vybráno pět zájmových území a vytvořeny pro ně návrhové úhrny srážek (5leté, 10leté, 100leté a maximální; 17 různých dob trvání; pro každou dobu trvání až pět možných typů srážky) a návrhové hyetogramy, celkem 2600 průběhů. Modely byly ve všech zájmových územích hodnoceny srovnáním

- kladného rozdílu kulminace přetečení vsakovacího zařízení při překročení retenční kapacity a kulminace odtoku z území před zastavěním při stejné srážce
- intenzity přetečení pro každý typ srážky dané délky trvání a opakování
- poměru celkového přetečení a celkového odtoku z území před stavbou.

Jako jeden z mezi – výstupů zpracování byla rovněž ve vybraných případech vyhodnocen poměr kulminace odtoku ze zájmového území po stavbě a kulminace odtoku z téhož území před stavbou. Pro zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN byly porovnány časové průběhy odtoku před stavbou, po stavbě a přetečení v případě 60min srážky.

K hodnocení výsledků byl užit Clarkův UH model v prostředí HEC – HMS a trojúhelníkový UH model, pro který byl vytvořen algoritmus v prostředí MS Excel, jenž je v práci stručně popsán. Vhodnost algoritmu byla ověřována porovnáním s výsledky výpočtů Clarkovým UH modelem.

Vzhledem k tomu, že hodnota čísla CN zastavěného území je typicky vyšší, než hodnota čísla CN téhož území s chybějící zástavbou, je T_p (doba od počátku deště do kulminace odtoku) zastavěného území kratší než T_p území bez zástavby. Rozdílnost T_p ovlivňuje i výpočet trojúhelníkového UH modelu, neboť pro srážky určité délky je nezbytné odtok ze zastavěného území určovat odlišně než odtok z téhož území před zástavbou (viz kapitola 4.4). Tato situace nastává i při návrhových srážkách ve vybraných zájmových územích, viz např. obr. 72. Z obrázku je patrné, že hodnota N při maximálních 60min srážkách na zájmovém území PALÁC STROMOVKA neekologické varianty je výrazně vyšší než hodnota N pro srážky delšího trvání na stejném území. K odstranění tohoto nesouladu byly vybrány mezní hodnoty (tj. příliš vysoké hodnoty M a N při 120min srážkách na území VILADOMY VELESLAVÍN, resp. při 60min srážkách na území PALÁC STROMOVKA neekologické varianty) při hodnocení výsledků (viz kapitola 5.) vyřazeny.

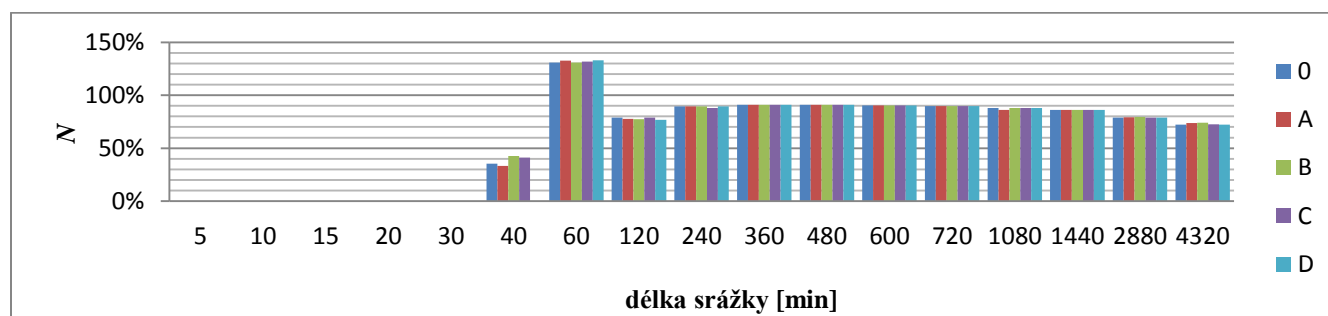
Dalším problémem je zřejmě počet časových kroků výpočtu algoritmu trojúhelníkového UH hydrogramu. Zatímco při výpočtu Clarkova hydrogramu v programu HEC – HMS byla zvolena

délka časového kroku 1 min a počet kroků při výpočtu byl vždy více než 100, algoritmus v prostředí MS Excel byl tvořen stejným počtem kroků jako vytvořený hyetogram, který slouží jako vstupní hodnota algoritmu. Vytvořené hyetogramy jsou tvořeny nejvíce 16 kroky. Po důkladném prozkoumání všech výsledků z algoritmu trojúhelníkového UH modelu je zřejmé, že některé mohou vést k nepravděpodobným závěrům. Nebylo ale v možnostech této práce zjistit vývojovou tendenci odchylky, ani zda odchylka je způsobena nízkým počtem kroků výpočtu či jednoduchostí (a velkým zjednodušením reálných podmínek) použité metody trojúhelníkového UH či Hortonovy infiltrace.

Největší rozdíl mezi vyvinutým algoritmem a Clarkovým UH modelem je v délce trvání odtoku. Zatímco délky trvání odtoku vypočtené algoritmem trojúhelníkového UH modelu se blíží délkám trvání příčinných srážek, délky trvání odtoku vypočtené Clarkovým UH modelem jsou několikanásobně delší než délky trvání příčinných srážek. Přestože velikosti kulminace odtoku i přetečení vypočtené trojúhelníkovým UH modelem (MS Excel) byly vyšší než hodnoty získané Clarkovým UH modelem, celkový objem přetečení i odtoku byl nižší (neboť odtok trval kratší dobu), a k překročení retenční kapacity přetečení vsakovací nádrže a následnému přetečení nedocházelo tak často.

Výsledky trojúhelníkového modelu se též vyznačovaly velkou rozkolísaností.

Obr. 72: Závislost poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou N na délce a typu návrhové maximální srážky, zájmové území PALÁC STROMOVKA neekologické varianty, trojúhelníkový UH model



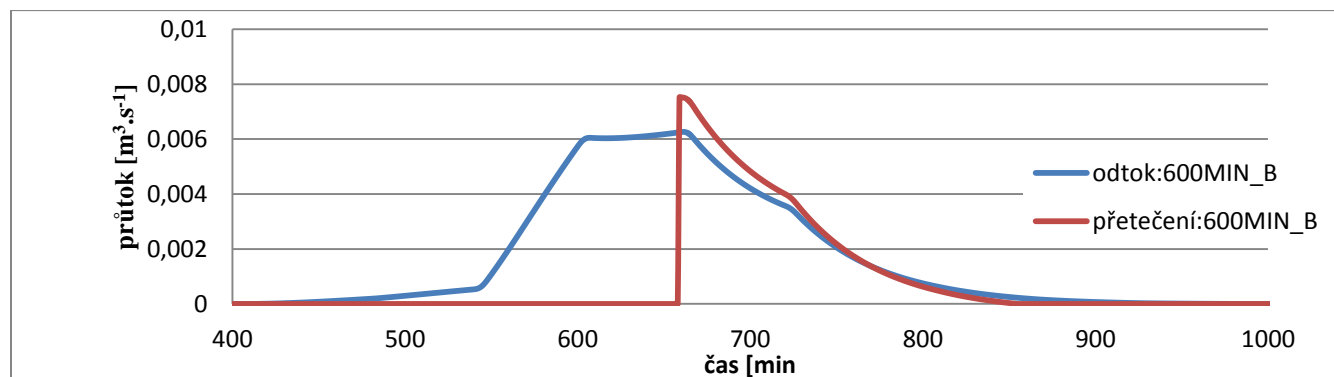
Velikost kulminace přetečení při 5letých a 10letých návrhových srážkách získaná Clarkovým UH modelem (software HEC–HMS) krátkodobě významně převyšovala kulminaci odtoku jen ze zájmového území zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ.

Při srážkách kratších než 60min nenastalo ani v jednom hodnoceném případě přetečení ze vsakovací nádrže. Při srážkách trvání delšího než 240 min byla kulminace přetečení vždy vyšší než

kulminace odtoku před stavbou. Vsakovací nádrž přetékala ve většině případů až poté, co nastala kulminace odtoku po stavbě. Protože kulminace odtoku po stavbě nastávala dříve než kulminace odtoku před stavbou, vsakovací nádrž vyrovnávala časový rozdíl obou kulminací (odtoku před stavbou a odtoku po stavbě zpomaleného díky vsakovací nádrži). Maximální hodnota M ($0,0013 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla zjištěna na území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ (obr. 73) při 5leté 600min srážce typu B, kdy došlo ke zvýšení odtoku o 20 %. Nejvyšší hodnota poměru objemu přetečení a objemu odtoku z hodnoceného území před stavbou ($N=71 \%$) byla vypočtena pro návrhovou 10letou 4320min srážku průběhu D na území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ; v případě zájmového území VILADOMY VELESLAVÍN byla průměrná hodnota $N = (10 \div 20) \%$; v případě zájmového území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ $N \cong 50 \%$. Na ostatních zájmových územích nastalo pouze ojediněle, že kulminace přetečení převýšila kulminaci odtoku ze zájmového území před stavbou.

Ze srážek s trváním kratším než 30 min přetečení vypočtené trojúhelníkovým UH modelem nevznikalo, což je v souladu se závěrem vyvozeným z výsledků získaných Clarkovým UH modelem. Výsledky obou modelů též potvrdily, že vsakovací nádrž dimenzovaná na zájmové území PALÁC STROMOVKA obou variant (tj. se stavbou s ekologickým nebo neekologickým povrchem), je schopná pojmout téměř veškerý odtok z území po zastavení a to nezávisle na délce nebo průběhu srážky. Dále se srovnáním výsledků obou modelů potvrdilo, že největší relativní rozdíl mezi kulminacemi přetečení a odtoku nastal na území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ; nejvyšší hodnota veličiny M ($0,0088 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla zjištěna na území VILADOMY VELESLAVÍN. Nejvyšší hodnota N (85 %) byla zjištěna při 4320min srážce typu D na zájmovém území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ.

Obr. 73: Časová závislost průtoku vyjádřeného intenzitami přetečení a odtoku před stavbou a po stavbě, návrhová 5letá 600min srážka typu B, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model



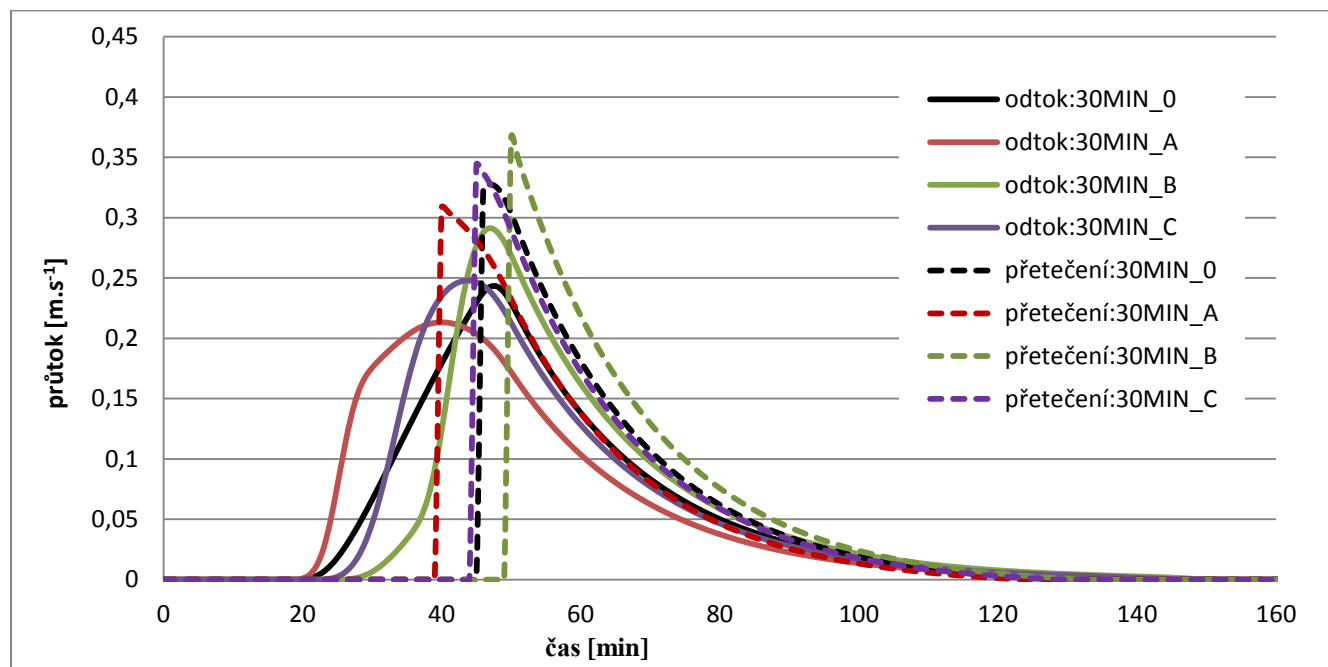
Nejvyšší kladný rozdíl kulminace přetečení a odtoku před stavbou při 100letých srážkách byl z výpočtů Clarkova UH modelu zjištěn na území VILADOMY VELESLAVÍN při 30min srážce typu C.

Nejvyšší hodnota N (78 %) byla zjištěna na území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ při 1440min 100leté srážce průběhu D, nejnižší (47 %) taktéž pro 1440min srážku průběhu D na území PALÁC STROMOVKA s ekologickým povrchem.

Přetečení vypočtené trojúhelníkovým UH modelem pro 100leté srážkové úhrny dlouhé 5 min a 10 min nebylo kladné na žádném ze zkoumaných zájmových území. Přetečení pro 60min srážky bylo kladné pouze na zájmovém území BYTY SEMMERING, přetečení pro srážky delší než 60 min bylo kladné na všech zájmových územích. Nejvyšší kladný rozdíl kulminace přetečení a odtoku před stavbou byl trojúhelníkovým UH modelem zjištěn na území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ při 1440min srážce typu D. Ze zkoumaných maximálních hodnot N pro jednotlivá zájmová území byla nejvyšší hodnota N (91 %) zjištěna pro 1440min srážku průběhu D na území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, nejnižší maximální hodnota 61 % taktéž pro 1440min srážku průběhu D na území PALÁC STROMOVKA s ekologickým povrchem.

Výsledky Clarkova UH modelu ukazují, že maximální hodnoty přetečení výrazně nepřevyšovaly maximální hodnoty odpovídajících odtoků z území před stavbou ani z převážné většiny návrhových maximální srážek. Zatímco kulminace přetečení byla vyšší než kulminace odtoku před stavbou při 5letých a 10letých srážkách trvání delšího než 240min, rozdíl M kulminace přetečení a odtoku před stavbou byl nejvyšší při maximálních srážkách trvání 20min až 120min. Hodnota M byla nejvyšší na území VILADOMY VELESLAVÍN ($0,096 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při 30min srážce typu C, viz obr. 74) a na území PALÁC STROMOVKA neekologické varianty ($0,088 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při 40min srážce typu A), nejnižší na území BYTY SEMMERING ($0,0019 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ při 20min srážce typu C). Vzhledem k vysokým kulminacím odtoku po stavbě nebyla vsakovací nádrž schopna tyto extremity zachytit a k přetečení ze vsakovacího zařízení docházelo dříve než ke kulminaci odtoku před stavbou (oproti přetečení z 5letých a 10letých srážek). Maximální hodnota N (97 %) na zkoumaných územích byla nejvyšší pro 600min srážky typu A na území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, nejnižší (86 %) také pro 600min srážky typu A na území PALÁC STROMOVKA ekologické varianty.

Obr. 74: Intenzita přetečení a odtoku, zájmové území VILADOMY VELESLAVÍN, maximální 30min srážka



K přetečení dle trojúhelníkového UH modelu z maximálních teoretických úhrnů srážek nedošlo pouze při 5min srážkách. Nejvyšší hodnota M ($0,078 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byla zjištěna na území PALÁC STROMOVKA neekologické varianty, maximální hodnota N (91 %) byla výpočty trojúhelníkovým UH modelem zjištěna na území PALÁC STROMOVKA neekologické varianty pro 360min srážku typu D; nejvyšší zjištěná maximální hodnota N je (98 %) pro 240min srážku průběhu C na území VILADOMY VELESLAVÍN.

Ze celkového srovnání výsledků obou porovnávaných modelů vyplývá, že největší rozdíly nastávají v případech 5letých a 10letých srážkových úhrnů.

Hodnoty N získané trojúhelníkovým UH modelem pro 5leté a 10leté maximální úhrny jsou výrazně vyšší než hodnoty N získané Clarkovým UH modelem. Hodnoty N pro maximální srážkové úhrny jsou pro oba modely srovnatelné.

Hodnota N byla pro všechna zkoumaná území a pro všechny zkoumané srážky nižší než 100 %. V žádném případě nebyl tedy objem přetečení ze vsakovací nádrže vyšší než objem odtoku ze stejné srážky ze stejného nezastavěného území. Porovnání intenzity přetečení ze vsakovací nádrže a intenzity odtoku z povrchu před zastavěním povrchu ukazuje, že antropogenní změna odtoku z 5letých a 10letých úhrnů srážek je výraznější pouze na území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ. Největší nebezpečí

hrozí z krátkodobých 100letých a maximálních srážek trvání 20 min až 120 min všech průběhů, kdy maximální intenzita přetečení ze vsakovací nádrže krátkodobě výrazně překračuje intenzitu odtoku z povrchu před stavbou z téže srážky. Jako příklad lze uvést odtok z 30min maximální srážky z území VILADOMY VELESLAVÍN, pro jejíž průběh C byla vypočtena nejvyšší maximální hodnota veličiny M . Intenzita přetečení ze srážky průběhu C překračuje odtok z povrchu před stavbou z téže srážky až o 40 %, ze srážky průběhu A až o 44 % (vypočteno Clarkovým UH modelem). Z výsledků pro území VILADOMY VELESLAVÍN získaných trojúhelníkovým UH modelem vyplývá, že intenzita přetečení z 40min srážky průběhu 0 překračuje odtok z povrchu před stavbou o 23 %, intenzita přetečení z 60min srážky průběhu A překračuje odtok z povrchu před stavbou o 33 %. Je nutné ale zdůraznit, že tyto veliké rozdíly mají pouze krátkodobé, několikaminutové trvání. Z výsledků Clarkova UH modelu vyplývá, že při srážkách trvání kratšího než 1080 min (18 hod) hodnota veličiny M nezávisí na typu srážky, zatímco při srážkách delších než 1080 min je hodnota veličiny M nejvyšší při srážkách typu D. Z výsledků trojúhelníkového UH modelu nebyla závislost hodnoty veličiny M na typu srážky zjištěna.

S ohledem na změnu odtoku ze zájmového území po stavbě vykazuje podle předpokladu nejmenší rozdíly zájmové území BYTY SEMMERING s pouhými 5 % nepropustných ploch a PALÁC STROMOVKA ekologické varianty s 30 % nepropustných ploch. Největší rozdíly vykazuje území VILADOMY VELESLAVÍN s 65 % nepropustných ploch a PALÁC STROMOVKA neekologické varianty s 95 % nepropustných ploch.

Srovnáváním odtoku z území STROMOVKA neekologické varianty je patrné, že velký vliv nepropustných ploch se projevuje především při 100letých a maximálních srážkách, naopak odtok při 5letých a 10letých úhrnech srážek lze srovnat spíše s odtokem z území BYTY SEMMERING a PALÁC STROMOVKA ekologické varianty. Naopak na území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ (35 % nepropustných ploch) je v porovnání se změnami odtoku z ostatních zkoumaných území patrná změna odtoku především při 5letých a 10letých srážkách.

Změna odtoku na území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ vypočtená pomocí Clarkovým UH modelem se vyznačuje největší vyrovnaností v závislosti na délce a průběhu srážky, což je možná zapříčiněno velmi malým sklonem tohoto území (pouze 2 %). Je proto možné, že vzorec normy ČSN 75 9010 použitý k výpočtu retenčního objemu podhodnocuje objem vsakovací nádrže nutný k většímu zachycení odtoku po stavbě. K potvrzení této myšlenky by bylo vhodné ověřit přesnost normy ČSN 75 9010 na odtocích z více povodí s velmi malým sklonem.

Vzhledem k tomu, že norma ČSN 75 9010 byla vytvořena především pro potřeby dimenzování stokové sítě, byly hodnoceny i intenzity přetečení. Výsledky získané Clarkovým UH modelem ukazují, že k přetečení z 5letých srážek nedošlo pouze na území PALÁC STROMOVKA ekologické varianty. Ze srážek s delší dobou opakování došlo k přetečení na všech zkoumaných územích. Podle výsledků získaných trojúhelníkovým UH modelem došlo k přetečení ze srážek všech dob opakování na všech zkoumaných územích. K nejvyšší intenzitě přetečení došlo shodně podle obou modelů na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN z maximálních srážek. Nejnížší intenzity přetečení (podle obou modelů) byly zjištěny na území BYTY SEMMERING a RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ. Na území PALÁC STROMOVKA neekologické varianty (a méně i na území PALÁC STROMOVKA ekologické varianty) je opět patrný vzrůstající vliv nepropustných ploch s prodlužující se dobou opakování srážek.

Maximální intenzita přetečení z 5letých a 10letých srážek (nezávisle na použité metodice) dosahovala poměrně nízkých hodnot. Nejvýraznější přetečení ($0,042 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) bylo vypočteno pro 10letou 2880min srážku průběhu D na území VILADOMY VELESLAVÍN.

Maximální intenzita přetečení z maximálních úhrnů srážek určená Clarkovým UH modelem se v závislosti na zkoumaném území pohybuje mezi $0,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ až $0,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Maximální intenzita přetečení z maximálních úhrnů srážek vypočtená trojúhelníkovým UH modelem se v závislosti na zkoumaném území pohybuje mezi $0,17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ až $0,81 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Pro výpočty objemu vsakovací nádrže byl použit podle metodiky normy ČSN 75 9010 součinitel vsaku $f = 2$ (viz kapitola 4.6). Autor této práce na základě výsledků maximálních intenzit přetečení ze 100letých a maximálních úhrnů srážek doporučuje v případě předpokládaných možných úhrnů srážek vyšší periodicity než 5 a 10 let při výpočtu vsakovací nádrže použití součinitele bezpečnosti vsaku $f > 2$. Pokud se vsakovací nádrž staví na území s malým sklonem, lze doporučit použití součinitele bezpečnosti vsaku $f > 2$ i při předpokládaných srážkách 5letého a 10letého opakování. Též v případě pojištění stavby proti zatopení z přívalových srážek lze doporučit použití vyšší hodnoty součinitele bezpečnosti vsaku. Případně lze zvážit vytvoření dodatečné retence použitím několika prostředků k odvedení vody přeteklé ze vsakovacího zařízení, např. kombinací vyvedení odtoku do terénní prohlubně a přepadovým potrubím do kanalizace.

Rozdíl mezi vypočtenými odtoky ze zájmových území před stavbou a po stavbě byl zřejmě nižší než ve skutečnosti, a to díky velké generalizaci hodnot CN. Podkladové materiály hodnot CN byly generalizovány na čtverce o rozměrech $(250 \times 250) \text{ m}^2$. Skutečné hodnoty CN zkoumaných území byly zřejmě díky tomu nižší než hodnoty použité v této práci, neboť do generalizovaných

podkladů byly započítány asfaltové a jiné umělé povrchy s hodnotou $CN = 100$. Proto i rozdíl velikosti odtoku ze zastavěného území a velikosti odtoku před stavbou byl ve skutečnosti zřejmě vyšší než vypočtený.

Z normy ČSN 75 9010 není zcela jasný zdroj použitých návrhových 5letých a 10letých srážek. Pravděpodobně byly využity podklady rakouské normy ÖNORM B 2506. Autor této práce bohužel neměl možnost do této normy nahlédnout. V každém případě se nabízí otázka, zda srážkové úhrny naměřené (odvozené) pro rakouské území lze použít v českých podmínkách. Je však nutné znovu zdůraznit, že zjištěné hodnoty přetečení z 5letých a 10letých srážek jsou ve většině případů velmi nízké, a je možné tedy konstatovat, že norma ČSN 75 9010 splňuje svůj účel. Pro potřeby této práce odvozené 100leté úhrny srážek vycházejí ze vzorce navrženého v 60. letech 20. stol. (Němec, 1964), jenž vychází z Truplových výzkumů (Trupl, 1958) a lze předpokládat, že velikosti srážkových úhrnů jsou v současné době mírně odlišné. Maximální úhrny srážek byly odvozeny regresí získaných nejvyšších naměřených úhrnů srážek na území Evropy. Je proto vhodné předpokládat, že v této práci použité úhrny srážek neodpovídají zcela skutečným podmínkám. Pro případné ověřování optimalizaci normy ČSN 75 9010 lze i přes finanční náročnost doporučit výzkum intenzit krátkodobých srážek na českém území.

Infiltrační vlastnosti půd nacházejících se na zkoumaných zájmových územích nebyly zjištěny vsakovacími zkouškami, ale odvozeny z pedologických a jiných podkladů. Půdy na zkoumaných zájmových územích jsou vysoké/ střední až střední/ nízké propustnosti (Mackovčín, 2001) (podrobněji viz kapitola 2.5). Pro případné další zkoumání normy ČSN 75 9010 by bylo vhodné zařadit mezi zkoumaná zájmová území i území s půdami velmi vysokých a velmi nízkých propustností.

Lze předpokládat, že při projektování vsakovacích nádrží pro plošně nepříliš rozsáhlé stavby je finančně neúnosné provádět na stavebním pozemku vsakovací zkoušky a infiltrační vlastnosti půd jsou odečítány z generalizovaných podkladů. V takovém případě autor této práce doporučuje zvýšit hodnotu použitého součinitele bezpečnosti vsaku f .

Výpočty poměru kulminace odtoků ze zájmových území po stavbě a před stavbou při návrhových 5letých a maximálních srážkách a časové průběhy odtoku před stavbou, po stavbě a přetečení v případě 60min srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN naznačují v souladu se studiemi Konrada (2003) a Leopolda (1968), že s prodlužující se délkou opakování srážky se snižuje poměr kulminace odtoku po stavbě a před stavbou. Nejvyšší hodnoty poměru byly při 5min srážkách (až 40ti násobné zvýšení odtoku při 5letých srážkách, trojnásobné zvýšení odtoku při maximálních srážkách na území VILADOMY VELESLAVÍN dle Clarkova UH modelu). Hodnoty poměrů odtoků při 5leté

srážce byly až několikanásobně vyšší než uvádí Konrád (2003) (až 4000 % dle Clarkova UH modelu oproti 100 % až 600 % uváděných Konrádem) Hodnoty poměrů odtoků při maximální srážce jsou stejné či mírně vyšší než horní hranice uváděná Konrádem (až 300 % dle Clarkova UH modelu oproti 250 % uváděné Konrádem). Hodnoty poměrů odtoku vypočtené trojúhelníkovým UH modelem byly nižší než horní hranice uváděné Konrádem.

7. Závěr

Práce je členěna do teoretické části a praktické části. V teoretické části je podána fyzickogeografická charakteristika zájmových území a podán přehled literatury zabývající se problematikou metod hodnocení odtoku v urbanizovaném prostředí, včetně definice návrhových veličin, čímž byl naplněn jeden z vedlejších cílů práce. Součástí teoretické části je rovněž popis metodiky použité při zpracování této práce.

Praktická část popisuje dosažené výsledky, provádí jejich shrnutí a diskuzi. Součástí je i příloha, která obsahuje rozšířený soubor výsledků nad rámec těch přímo prezentovaných v textu práce.

Hlavním cílem práce bylo ověřit funkčnost normy ČSN 75 9010 na modelových urbanizovaných povodích s plánovanou změnou využití (zástavbou území) při návrhových srážkách různého průběhu, trvání a doby opakování.

Výpočet odtoku byl proveden pomocí Clarkova UH modelu a trojúhelníkového UH modelu. V případě Clarkova UH modelu byl k dispozici počítačový program HEC – HMS vedoucí přímo k číselným výsledkům, trojúhelníkový UH model byl popsán pouze obecně a k získání numerických výsledků bylo nezbytné odvodit řadu vzorců a logických podmínek podrobně popsanych a odvozených v kapitole 4.4.

Modely byly porovnávány pro případ 5letých, 10letých, 100letých a maximálních teoretických úhrnů srážek, tedy i srážek o delší době opakování, než předpokládá norma.

Pro vlastní porovnání modelů byla vybrána čtyři zájmová území. Každé zájmové území bylo charakterizováno plochou území, velikostí a typem zástavby (střecha s ekologickým zatravněným či vodu nepropouštějícím povrchem), průměrným sklonem terénu, maximální délkou toku, infiltračních vlastností půdy a hodnotou CN. Jedno ze zájmových území bylo hodnoceno s ekologickým i neekologickým typem zástavby. Odtok z každého zájmového území byl vypočten pro stav před i po zástavbě a jako jeden z dílčích výstupů byl modely při návrhových 5letých a maximálních srážkách hodnocen poměr kulminace odtoků ze zájmových území před stavbou a po stavbě.

Konečné výsledky, tedy funkčnost navržených vsakovacích zařízení při různé extremitě srážek, byly hodnoceny srovnáním kladných rozdílů kulminací přetečení ze vsakovacího zařízení (jeho objem vypočten dle metodiky ČSN 75 9010) a odtoků ze zájmových územích před jejich zastavěním v průběhu návrhových srážek, srovnáním celkového objemu přetečení ze vsakovací nádrže s celkovým objemem odtoku z povrchu před zastavěním povrchu z jednotlivých návrhových srážek a nejvyšších přetečení ze vsakovací nádrže z jednotlivých návrhových srážek.

Hodnoty získané trojúhelníkovým UH modelem byly v průměru mírně vyšší než hodnoty vypočtené modelem Clarkova UH. Výsledky obou modelů ukazují, že ve všech zkoumaných případech není celkový objem přetečení ze vsakovacího zařízení vyšší, než celkový objem odtoku z území před stavbou.

Výsledky práce ukazují, že při 5letých a 10letých srážkách kladné rozdíly kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení a odtoku před zastavěním nabývají nejvyšších hodnot na území s velmi malým sklonem. Potvrzuje se, že největší negativní antropogenní rozdíl odtoku je na území z velkým podílem nepropustných ploch, a to i přesto, že při výpočtu retenčního objemu vsakovací nádrže byla provedena korekce dle druhů a velikosti ploch povrchů nalézajících se na zájmovém území. Negativní antropogenní změna odtoku ze zastavěného území je výrazně patrná pouze z krátkodobých 20min až 120min 100letých a maximálních úhrnů srážek, kdy kladné rozdíly kulminace přetečení ze vsakovacího zařízení a odtoků ze zájmových územích před zastavěním nabývají nejvyšších hodnot. Intenzita přetečení byla z maximálních návrhových srážek až o 40 % vyšší než odtok z povrchu před stavbou (dle Clarkova UH modelu) (40min srážky) a až o 33 % dle trojúhelníkového UH modelu (60min srážky), ale tento extrémní stav trval vždy pouze krátkodobě, typicky několik minut.

Při 100letých a maximálních srážkách nabývala intenzita přetečení nejvyšších hodnot v území s velkým podílem zástavby s neekologickým povrchem. Vzhledem k tomu, že velikost přetečení z maximálních srážek byla poměrně vysoká (až $0,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dle Clarkova UH modelu; až $0,81 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ dle trojúhelníkového UH modelu) lze v případě předpokládaných maximálních srážek při výpočtu retenčního objemu vsakovacího zařízení na místě realizované stavby doporučit zvýšit hodnotu součinitele bezpečnosti f , jež se projeví zvýšením objemu vsakovací nádrže.

Poměr kulminace odtoků ze zájmových území po stavbě a před stavbou byl vyšší při 5letých srážkách než při maximálních srážkách, což je v souladu se studiemi Konrad (2003) a Leopold (1968). Z hlediska délky trvání příčinných srážek byl poměr nejvyšší při 5min srážkách, s prodlužující se délkou srážek exponenciálně klesal.

Výše uvedené naznačuje, že odvozený algoritmus k praktickému užití trojúhelníkového UH modelu je i přes svou jednoduchost vhodný k hodnocení přetečení ze vsakovací nádrže a objemů odtoku ze zájmového území.

8. Seznam použitých pramenů a literatury

- ALFIERY, L. LAIO, F., CLAPS, P. (2008): A simulation experiment for optimal design hyetograph selection. In: *Hydrological Processes* **22** (6), s. 813 – 820.
- AMENGUAL, A., ROMERO, R. (2006): A Hydrometeorological Modeling Study of a Flash – Flood Event over Catalonia, Spain. In: *Journal of Hydrometeorology* **8**, s. 282 – 303.
- BATTANY, M., C., GRISMER, M., E. (2000): Rainfall runoff and erosion on Napa Valley vineyards: effects of slope, cover and surface roughness. In: *Hydrological Processes* **14**, s. 1289 – 1304.
- BERANOVÁ, K., HUTH, R. (2003): Pražský tepelný ostrov za různých synoptických podmínek. In: *Meteorologické zprávy* **56** (5), Praha, ČHMÚ, s. 137 – 142.
- BELL, T. et al. (2008): Midweek increase in U.S. summer rain and stormheights suggests pollution invigorates rainstorms. In *Journal of Geophysical Research* **113**, 22 s.
- BETSON, R., P. (1964): What Is Watershed Runoff?. In: *Journal of Geophysical Research*, **69** (8), s. 1542 – 1552.
- BEVEN, K., J. (2002): *Rainfall – Runoff Modelling, The Primer*, John Willey & Sons, Chichester, 360 s.
- BIELEK, P. (2004): Podohospodársky poradensky systém, poda, [online], citace [3.2.2013], dostupné z: <<http://www.agroporadenstvo.sk/poda/>>
- BYTY SEMMERING (2013): [online], [citace 3.2.2013], dostupné z: <<http://www.jrd.cz/Projekty-JRD/Projekty-prave-v-prodeji/Byty-Semmering/Detail-projektu>>
- CERVENY, S., R., BALLING, C. R. (1998): Weekly cycles of air pollutants, precipitation and tropical cyclones in the coastal NW Atlantic region. In: *Nature* **396**, s. 561 – 563.

CICEK, I., TURKOGLU, N. (2005): Urban effects on precipitation in Ankara. In: Atmosféra, **18** (3), s. 173 – 187.

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA (2013): Geologie a geologické mapy okresu Praha, Regionální geologie okresu Praha a okolí, geologická mapa 1:50000, [online], [citace 6.2.2013], dostupné z: <<http://www.geologicke-mapy.cz/regiony/okres-CZ0100/>>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2013 A): Vodoměrné stanice, [online], [citace 28.3.2013], dostupné z: <<http://hydro.chmi.cz/hydro/#>>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2013 B): Rozložení a extremita příčinných srážek, 68 s., [online], [citace 15.1.2013], dostupné z: <<http://old.chmi.cz/2kap.pdf>>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, úsek hydrologie (2012 A): Vyhodnocení synoptických příčin povodně. In: Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002, 22 s., [online], poslední aktualizace 19.3.2012, [citace 8.8.2012], 28 s., dostupné z: <<http://voda.chmi.cz/pov02/1etapa/1kapitola.pdf>>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2012 B): Hydrometeorologické vyhodnocení bouřkového období v České republice od 1. do 8. července 2012, 22 s., [online], [citace 5.2.2013], dostupné z: <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/Final_vyhodnoceni_bourek_cervenec_2012.pdf>

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2012 C): Podkladová vrstva CN hodnot pro území Prahy, osobní předání 2.8.2012.

ČSN 75 9010 (2013): Vsakovací zařízení srážkových vod, 44 s.

ČÚŽK (2012): přístup k mapovým produktům a službám resortu, [online], [citace 3.2.2013], dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/%28S%28s2wqwm55xlhygp55qzhbmghp%29%29/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-KM&metadataXSL=metadata.sluzba&head_tab=sekce-03-gp&menu=3110>

DAŇHELKA, J. (2007): Operativní hydrologie: Hydrologické modely a nejistota předpovědí. Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu, **51**, Praha, ČHMÚ, 104 s.

DAVOD, M., G., KOSHAK, A., N. (2011): Developing GIS – Based Unit Hydrographs for Flood Management in Makkah Metropolitan Area, Saudi Arabia. In: Journal of Geographic Information System **3**, s. 15 – 159.

DIETZ, E., M., CLAUSEN, C., J. (2005): A Field Evaluation of Rain Garden Flow and Pollutant Treatment. In: Water, Air, and Soil Pollution **167**, s. 123 – 138.

DINGMAN, S., L. (2002): Physical Hydrography, Prentice Hall, Upper Sadle River, New Jersey, USA, 646 s.

DUNNE, T., BLACK, R., D. (1970): An experimental investigation of runoff production in permeable soils. In: Water Resources Research **6**, s. 478 – 490.

ELEKTRONICKÝ DIGITÁLNÍ POVODŇOVÝ PORTÁL (2012): Přívalové povodně, [online], [citace 10.8.2012], dostupné z: http://www.edpp.cz/public/files/privalove_povodne-1.pdf>

ECKHARDT, K. (2005): How to construct recursive digital filters baseflow separation. In: Hydrological Processes **19**, s. 507 – 515.

ENVIS (2013): Informační systém o životním prostředí v Praze, Půdy, [online], [citace 3.2.2013], dostupné z: http://envis.praha-mesto.cz/rocenky/chruzemi/cr2_cztx/chu-pudy.htm>

GEOPORTÁL INSPIRE (2013):, Mapy, [online], citace [4.2.2012], dostupné z: <
<http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>>

GHAHRAMANI, A., ISHIKAWA, Y. (2013): Water Flux and sediment transport within a forested landscape: the role of connectivity, subsurface flow, and slope length scale on transport mechanism. Hydrological processes, doi: 10.1002/hyp.9791, 38 s.

GÖBEL, P., DIERKES, C., COLDEWAY, G., W. (2007): Storm water runoff concentration matrix for urban areas. In: Journal of Contaminant Hydrology **91**, s. 26 – 42.

GRAF, L., W. (1977): Network Characteristics in Suburbanizing Streams. In: Water Resources Research **13** (2), s. 459 – 463.

GREEN, W., H., AMPT, G. (1911): Studies of Soil Physics. In: Journal of Agricultural Science **1**, s. 1 – 24.

GROMAIRE – MERTZ, C., M., GARNAUD, S., GONZALEZ, A., CHEBBO, G. (1999): Characterisation of urban runoff pollution in Paris. In: Water Science and Technology **39** (2), s. 1 – 8.

GUPTA, S., R. (2001): Hydrology and Hydraulic Systems, 2.vyd., Waveland Press Inc., USA, 867 s.

GURNELL, A., LEE, M., SOUCH, C. (2007): Urban Rivers. Hydrology, Geomorphology, Ecology and Opportunities for Change. In: Geography Compass **1** (5), s. 1118 – 1137.

HORTON, R., E. (1945): Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. In: Bulletin of the Geological Society of America **56**, s. 275 – 300.

HORTON, R., E. (1933): The role of infiltration in the hydrologic cycle. In: Transactions of the American Geophysical Union **14**, s. 446 – 460.

HUFF, F., A. (1967): Time distribution of rainfall in heavy storms. In: Water Resources Research **3** (4), s. 1007 – 1019.

HUFF, F., A. (1990): Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois, Illinois State Water Research Campaign, State Illinois Department of Energy and Natural Resources, 1990, 20 s.

HUFF, F., A., CHANGNON, A., S. (1972): Climatological Assessment of Urban Effects on Precipitation at St. Louis. In: Journal of Applied Meteorology **11**, s. 823 – 842.

CHARON, A., HARRISON, M., R. (2005): Fine (PM_{2.5}) and Coarse (PM_{2.5-10}) Particulate Matter on A Heavily Trafficked London Highway: In: Sources and Processes. Environ. Sci. Technol. 39 (20), s. 7768–7776.

CHIN, A. (2006): Urban transformation of river landscapes in global context. In: Geomorphology **79**, s. 460 – 487.

JAUREGUI, E., ROMALES, R. (1996): Urban effects on convective precipitation in Mexico City. In: Atmospheric Environment **30** (20), s. 3383 – 3389.

KASSULKE, N. (2003): A run on rain gardens. In: Wisconsin natural resources magazine, [online], [citace 15.1.2013], dostupné z:
<<http://dnr.wi.gov/wnrmag/html/supps/2003/feb03/run.htm#one>>

KATASTR NEMOVITOSTÍ A KATASTRÁLNÍ MAPA (2013): [online], [citace 3.2.2013], dostupné z:
<<http://ikatastr.cz/#zoom=8&lat=49.74701&lon=15.7673&layers=00B0FFFFTFFT>>

KEIFER, J., C., CHU, H., H. (1957): Synthetic Storm Pattern for Drainage Design. In: Journal of Hydraulics Division **83** (4), s. 1 – 25.

KONRAD, P., CH., BOOTH D., B. (2002): Hydrologic Trends Associated with Urban Developement for Selected Streams in the Puget Sound Basin, Western Washington. Water – Resources Investigations Report 02 – 4040, USGS, 48 s., [on – line], dostupné z:

<<http://pubs.usgs.gov/wri/wri024040/pdf/WRIR02-4040.pdf>>

KONRAD, P., CH. (2003): Effects of Urban Developement on Floods. In: USGS FS – 076 – 03, 4 s., [online], dostupné z: <<http://pubs.usgs.gov/fs/fs07603/pdf/fs07603.pdf>>

KOVANDA, J. et al. (2001): Neživá příroda Prahy a jejího okolí, Academia, Český geologický ústav, Praha, 215 s.

KÖHLER, M., SCHMIDT, M., GRIMME F., W., LAAR, M., GUSMAO, F. (2001): Urban Water Retention by Greened Roofs in Temperate and Tropical Climate. In: Technology Ressource Management & Developement – Scientific Contributions for Sustainable Developement **2**, s. 151 – 162.

KOUTSOYIANNIS, D., DEMOSTHENES, K., ALEXANDROS, M. (1998): A mathematical framework for studying rainfall intensity – duration - frequency - relationship, In: Journal of Hydrology **206**, s. 118 – 135.

KUBÁT, J. et al. (2010): Vyhodnocení povodní v srpnu 2010 – Souhrnná zpráva, [online], poslední aktualizace 19.3.2012, [citace 8.8.2012], 131 s., dostupné z: <<http://voda.chmu.cz/pov10s/pdf/zprava.pdf>>

KULASOVÁ, B. a kol. (2004): Grantový projekt QD1368 „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní. Závěrečná zpráva. ČHMÚ, Praha, 128 s.

LEBLANC, T., R., BROWN, D., R., FITZGIBBON, E., J. (1997): Modelling of the Effects of Land Use Change on the Water Temperature in Unregulated Urban Streams. In: Journal of Environmental Management **49**, s. 445 – 469.

LEOPOLD, B.,L. (1968): Hydrology for Urban Land Planning – A Guidebook on Hydrological Effects of Urban Land Use. In: Geological Survey Circular 554, Washington, 18 s.

LIU, K., BASKARAN, B. (2003): Thermal performance of green roofs through field evaluation. In: National Research Council Canada, 10 s., [online], [citace 12.12.2012], dostupné z: <<http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc46412/nrcc46412.pdf>>

MACKOVČIN, P. (2001): Projekt VaV 640/3/99 - Systém komplexního hodnocení půd. MŽP, AOPK, Praha. 95 s.

MET OFFICE (2013): Weather extremes, [online], [citace 15.1.2013], dostupné z: <<http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/extremes/index.html#rainfall>>

MERZ, J. et al. (2006): Rainfall amount and intensity in a rural catchment of the middle mountains, Nepal. In: Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques **51** (1), s. 127 – 143.

MICHÁLEK, J., FUSEK, M., HELLEBRAND, R. (2012): Srovnání statistických metod odhadů IDF křivek. In: Workshop Adolfa Patery 2012 - Extrémní hydrologické jevy v povodích, VUT, Brno, s. 162 – 169.

MÜLLER, M, KAKOS, V. (2003): Hydrometeorologické srovnání povodní v srpnu 2002 s vybranými historickými případy dešťových povodní na Vltavě v Praze, In: Meteorologické zprávy **56** (5), Praha, ČHMÚ, s. 129 – 136.

MÜLLER, M, KAKOS, V (2004): Extrémní konvekční bouře v Čechách 25. – 26. května 1872, In: Meteorologické zprávy **57** (3), ČHMÚ, Praha, s. 69 – 77.

NASH, J., E. (1959): Systematic determination of unit hydrograph parameters. In: Journal of Geophysical Research **64**, s. 111 – 115.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (2013): Hydrometeorological Design Studies Center, World Record Point Precipitation Measurements, [online], [citace 15.1.2013], dostupné z:

<http://www.nws.noaa.gov/oh/hdsc/record_precip/record_precip_world.html>

NATIONAL WEATHER SERVICE (2013): National Operational Hydrologic Remote Sensing Center, Unit Hydrograph (UHG) Technical Manual, [online], [citace 1.2.2013], dostupné z: <http://www.nohrsc.noaa.gov/technology/gis/uhg_manual.html>

NĚMEC, J. (1964): Inženýrská hydrologie, Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1. vyd., 235 s., přílohy.

NOORBAKSH, M., E., RAHNAMA, M., B., MONTAZERI, S. (2005): Estimation of Instantaneous Unit Hydrograph with Clark's Method Using GIS Techniques. In: Journal of Applied Sciences **5** (3) 2005, s. 455 – 458.

PALÁČ STROMOVKA (2013): [online], [citace 3.2.2013], dostupné z: <<http://www.palacstromovka.cz/>>

PAUL, J., M., MEYER, L., J. (2001): Streams in Urban Landscape. In: Annu. Rev. Ecol. Syst. **32**, s. 333 – 365.

PRAX, P. (1999): Katalogizace charakteristických dešťů pro potřeby stokování, VUT Brno, disertační práce, 107 s.

PRAX, P., ROŽNOVSKÝ, J., PALÁT, M. (2010): Extrémní srážkové scénáře pro rizikovou analýzu posouzení ekonomicky únosného a ekologicky šetrného návrhu stokových sítí. GA ČR 103/07/0676, VUT, ČHMÚ, MZLU, [online], [citace 28.3.2013], dostupné z: <http://ga0676.uvho.fce.vutbr.cz/vysledky/VZ_2010.pdf>

PRODANOVIC, P., SIMONOVIC, P., S. (2004): Generation of Synthetic Design Storms for the Upper Thames River Basin. In: SFCAS Project: Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climatic Condition, Project Report V, 20 s.

PŮDNÍ MAPA ČR (1993): 12-42-Zbraslav, Soubor geologických a účelových map, 1:50000, Český geologický ústav, Praha.

PŮDNÍ MAPA ČSR (1988): 12-24-Praha, Soubor geologických a účelových map, 1:50000, Český geologický ústav, Praha.

RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ (2013): [online], [citace 3.2.2013], dostupné z: <<http://www.suchdolska.cz/>>

ROSENFELD, D. (2007): Aerosol – Cloud Interactions Control of Earth Radiation and Latent Heat Release Budgets. In: Solar Variability and Planetary Climates, Space Sciences series of ISSI **23**, s. 149 – 157.

SANDEV, M. et al. (2009): Vyhodnocení povodní v červnu a červenci 2009 na území České republiky – Meteorologické příčiny povodní, [online], poslední aktualizace 19.3.2012, [citace 8.8.2012], ČHMÚ, 107 s., dostupné z: <<http://voda.chmi.cz/pov09/doc/02.pdf>>

SCHULTZ, M., D. et al. (2007): Weekly precipitation cycles? Lack of evidence from United States surface stations. In: Geophysical Research Letters **34**, 4 s.

ŠIFALDA, V. (1995): Výpočet stokových sítí na podkladě doby zaplnění stok. In: Vodní hospodářství, (11/12), s. 383 – 390.

SIMMONDS, I., KEAY, K. (1997): Weekly cycles in meteorological variations in Melbourne and the role of pollution and anthropogenic heat release. In: Atmospheric Environment **31** (11), s. 1589 – 1603.

SIVAPALAN, M., BLÖSCHL, G. (1998): Transformation of point rainfall to areal rainfall: Intensity-duration – frequency curves. In: Journal of Hydrology **204**, s. 150 – 167.

SNYDER, F. F. (1938): Synthetic Unit Graphs. In: Trans - american Geophysical Union **19**, s. 447 – 454.

SOIL CONSERVATION SERVICE, U.S. (1972): National Engineering Handbook, část. 4., U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

SOWAC GIS (2013): Základní charakteristiky BPEJ, [online], [citace 12.2.2013], dostupné z: <http://ms.sowac-gis.cz/mapserv/dhtml_zchbpej/>

TAXONOMICKÝ KLASIFIKAČNÍ SYSTÉM PŮD ČR (2013): Klasifikační systém, Charakteristiky půdních jednotek, [citace 4.2.2013], dostupné z: <<http://klasifikace.pedologie.czu.cz/index.php?action=showPudniKategorie>>

TOLASZ, R. et al. (2007): Atlas podnebí Česka, UP, Olomouc, 1. vyd., 256 s.

TRUPL, J. (1958): Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. Výzkumný Ústav Vodohospodářský, Praha, 76 s.

UNUCKA, J., HOŘÍNKOVÁ, M., ŘÍHOVÁ, V., ADAMEC, M. (2010): Porovnání metod SCS – CN a Green - Ampt pomocí metod citlivostní analýzy na základě změny indexu předchozí srážky. XXII. Sjezd České geografické společnosti, Ostrava, s. 215 – 221.

UNUCKA, J. (2008): Modelování vlivu lesa na srážkoodtokové vztahy a vodní erozi s pomocí GIS. In: Vodní hospodářství **7**, s. 225 – 231.

UNIVERSITY OF RHODE ISLAND (2012): Healthy Landscape Program - Rain Gardens, [online], [citace 15.12.2012], dostupné z: <<http://www.uri.edu/ce/healthylandscapes/raingarden.htm>>

UNITED STATES DEPARTEMENT OF AGRICULTURE (2013): Urban Hydrology for Small Watershed, TR-55. In: Certified Professional in Erosion and Sediment Control, [online], [citace 1.2.2013], dostupné z: <<http://www.cpesec.org/reference/tr55.pdf>>

U.S. ARMY CORPS AND ENGINEERS (2000): Hydrological Modeling System HEC- HMS, Technical Reference Manual, [online], [citace 2.2.2013], dostupné z: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_%28CPD-74B%29.pdf>

VENEZIANO, D., VILLANI, P. (1999): Best linear unbiased design hyetograph. In: Water Resources Research **35** (9), s. 2725 – 2738.

VILADOMY VELESLAVÍN (2013):, [citace 3.2.2013], dostupné z: <<http://www.viladomyveleslavin.cz/>>

VÍTEK, J. (2008): Odvodňování urbanizovaných území podle principů udržitelného rozvoje. In: Urbanismus a územní rozvoj **11** (4), s. 15 – 26.

VOKOUN, J. a kol. (2002): Příručka pro průzkum lesních půd, Taxonomický klasifikační systém půd ČR v lesnické praxi, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Brandýs n. Labem, 43 s.

VOLOŠ, B. (2007): Odvození extrémních povodňových vln v malých povodích deterministickými nástroji, Odvozování povodňových vln deterministickými přístupy. In: Sklenář, P.: Nejistoty hydraulických výpočtů na vodních tocích pro extrémní hydrologické jevy, Grantový projekt 103/04/1328, Fakulta stavební ČVUT, [online], [citace 2.2.2013], dostupné z: <<http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/vyzkum/nejistoty/hydrologie/odvozeni.html>>

VYHLÁŠKA č. 428/2001 Sb., [online], [citace 15.8.2012], dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-428-2001-se-kterou-se-provadi-zakon-c-274-2001-sb>>

VYHLÁŠKA č. 327/1998 Sb., změna 546/2002 Sb., [citace 5.2.2013], <dostupné z: [VÝZKUMNÝ USTAV MELIORACÍ A OCHRANY PŮDY \(2013\): Osobní předání podkladů BPEJ, 5.2.2013.](http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fzp.ujep.cz%2F~Pokornyr%2F01_Materialy%2FPED_Vyhl_MZ_327_1998_BPEJ.doc&ei=u3YSubG8C8nGtAbc_4D4DA&usg=AFQjCNGshYL0rH-XBRR-qpnxfDiKaXXNlw&bvm=bv.41934586,d.Yms></p></div><div data-bbox=)

WAUGH, J., R. (1970): Baseflow recessions as an index of representativeness in the hydrological regions of Northland, New Zealand. In: Proceedings of the Symposium on the Results of Research on Representative and Experimental Basins, Wellington. IASH č. 96, s. 602 – 613.

WOLMAN, M., G. (1967): A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. In: Geografiska Annaler **49A**, s. 385 – 395.

XP SOFTWARE (2013): Decay rate of infiltration k . In: User's manual, Section 11, Infiltration, [online], [citace 1.2.2013], dostupné z <http://www.xpsoftware.com/webhelp/xpswmm.htm#SECTION_11__GLOBALS/11_4_Infiltration/Horton_Infiltration.htm>

YEN, B., C., CHOW, V., T. (1980): Design hyetographs for small drainage structures. In: Journal of the Hydraulics Division **106**, s. 1055 – 1076.

ZÁKON č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů, [online], [citace 15.8.2012], dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-254-2001-sb-o-vodach-a-o-zmene-nekterych-zakonu-vodni-zakon>>

ZÁKON č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů, [online], [citace 15.8.2012], dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-274->

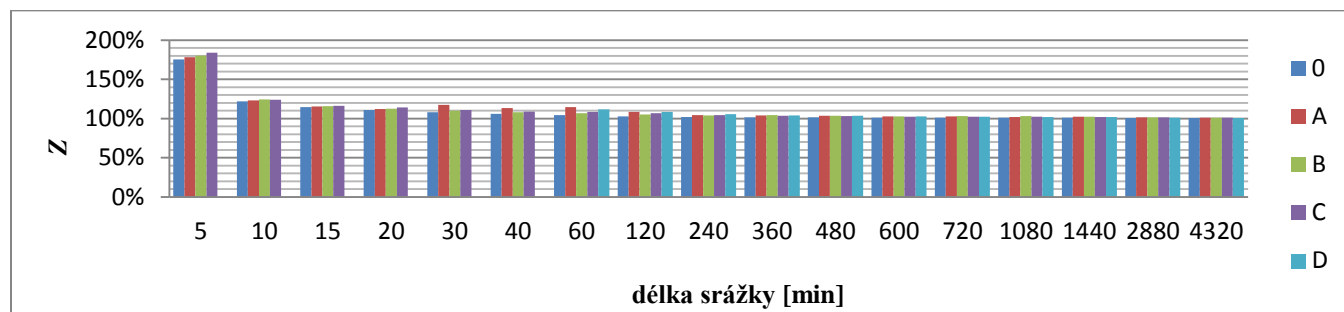
2001-sb-o-vodovodech-a-kanalizacich-pro-verejnou-potrebu-a-o-zmene-nekterych-zakonu-zakon-o-vodovodech-a-kanalizacich>

ZÁRUBA, Q., BUCHA, V., LOZEK, V. (1977): Significance of the Vltava terrace system for Quaternary chronostratigraphy - contribution to the IGCP Project "Quaternary glaciations in the northern hemisphere", Academia, Praha, 89 s.

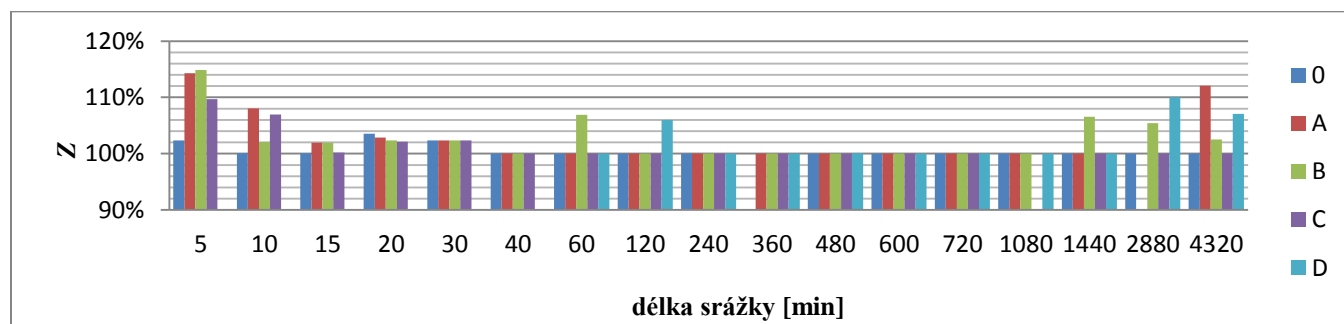
9. Přílohy

9.1 Poměr kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce

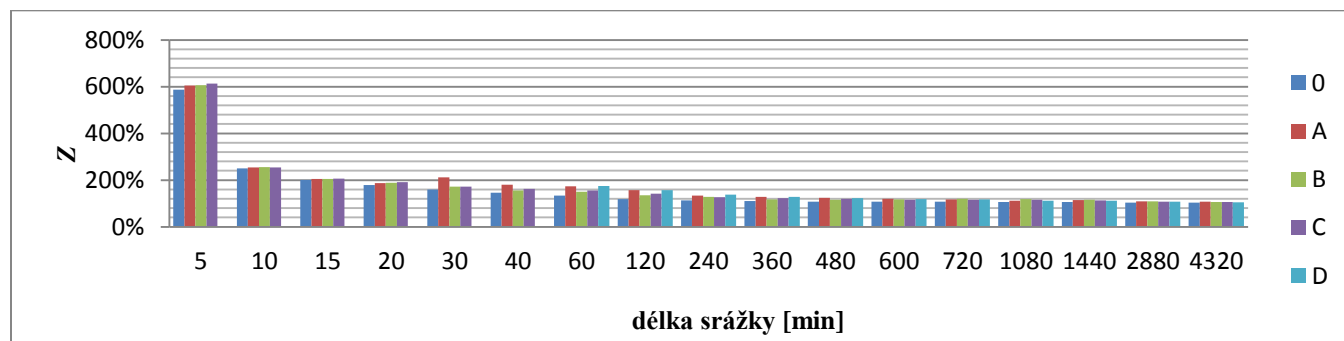
Obr. 1p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území BYTY SEMMERING, Clarkův UH model



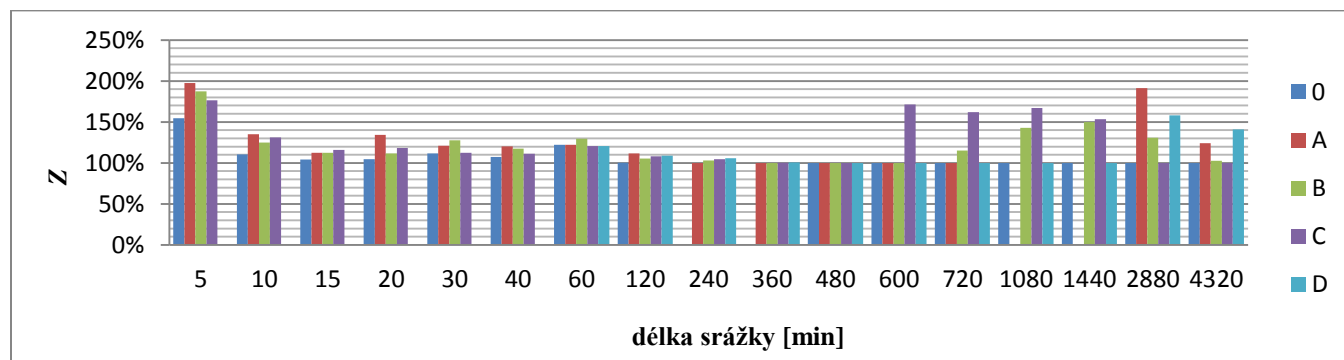
Obr. 2p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území BYTY SEMMERING, trojúhelníkový UH model



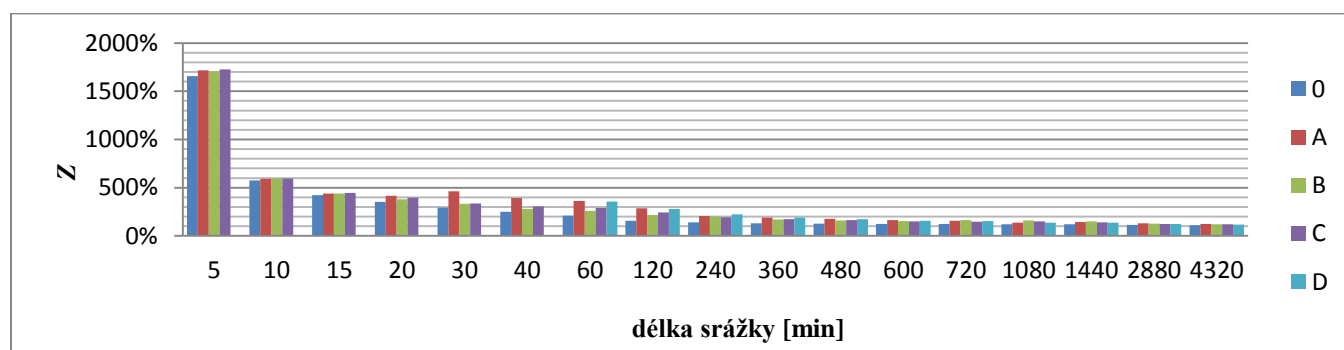
Obr. 3p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, Clarkův UH model



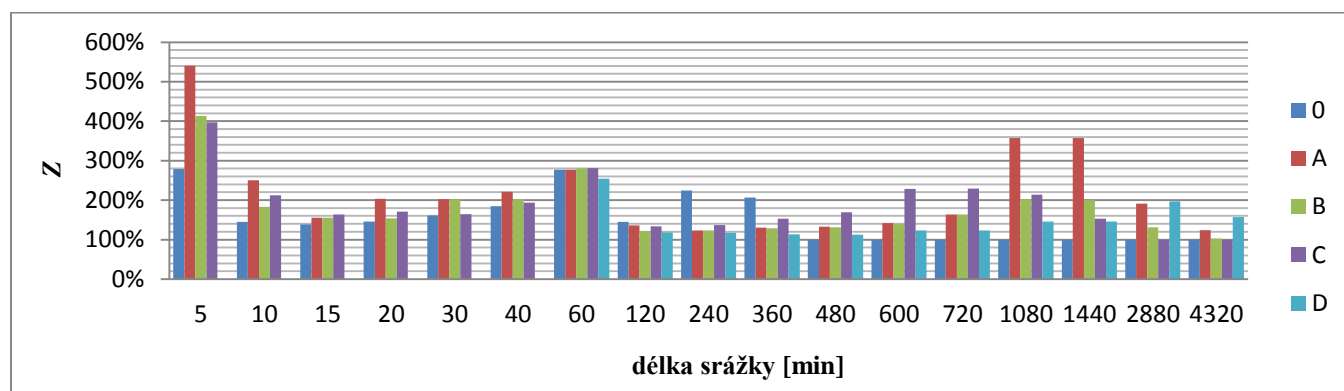
Obr. 4p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území PALÁČ STROMOVKA, ekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model



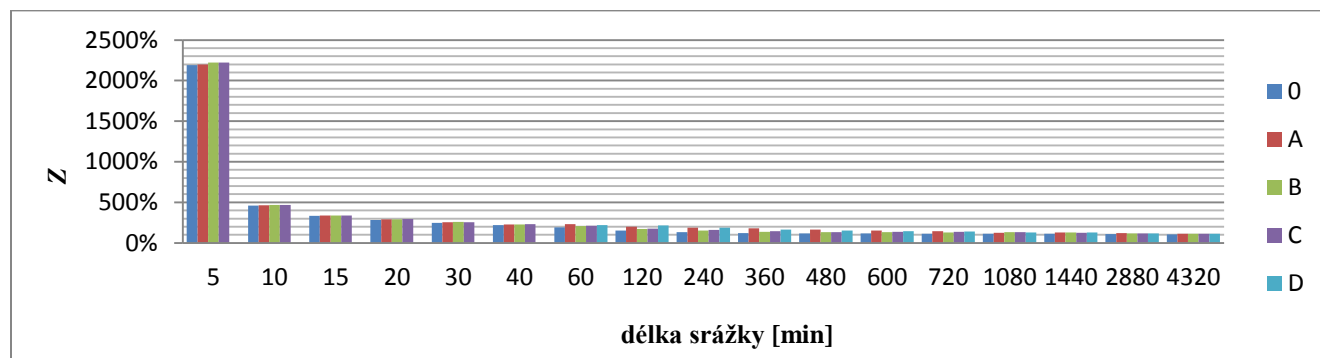
Obr. 5p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území PALÁČ STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model



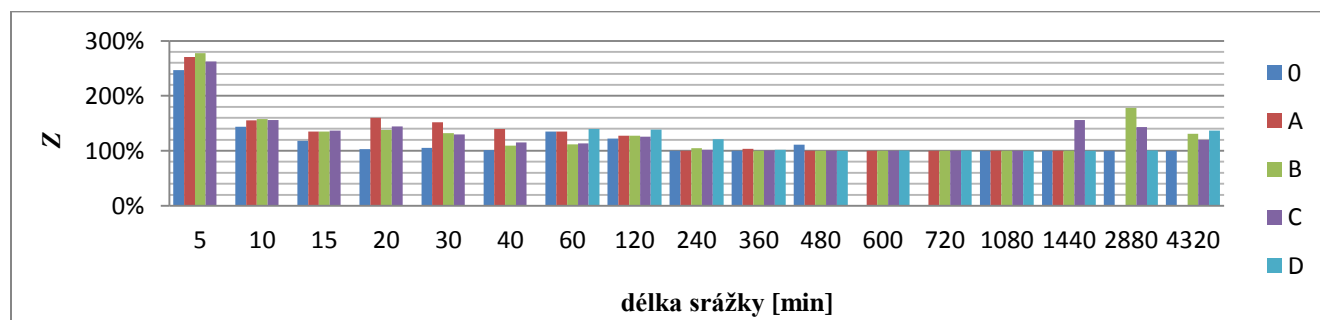
Obr. 6p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území PALÁČ STROMOVKA, neekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model



Obr. 7p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model

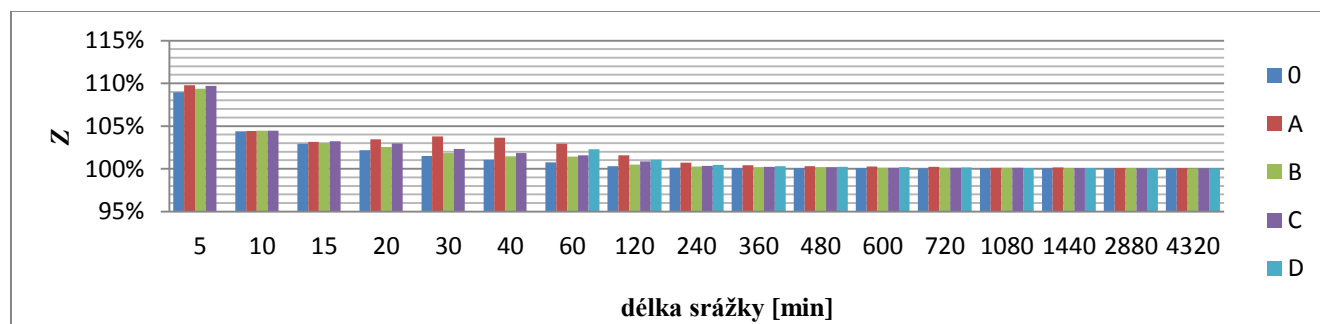


Obr. 8p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model

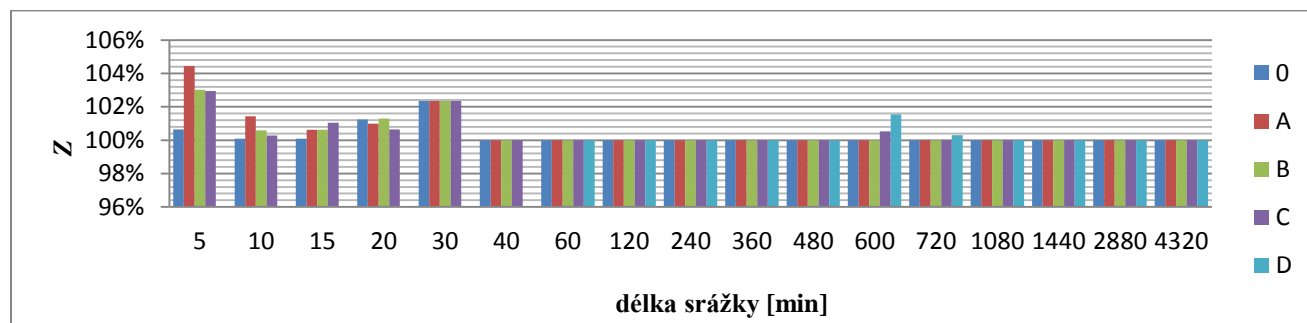


9.2 Poměr kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce

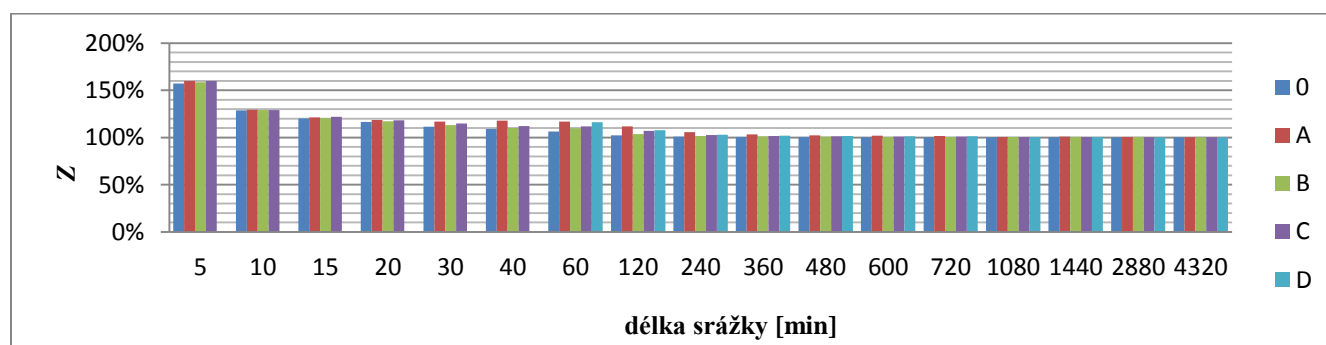
Obr. 9p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území BYTY SEMMERING, Clarkův UH model



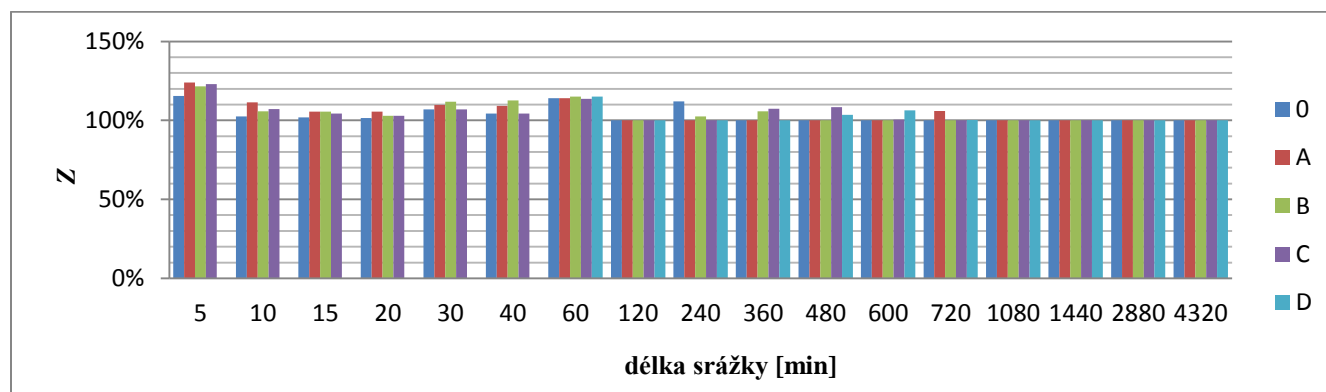
Obr. 10p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území BYTY SEMMERING, trojúhelníkový UH model



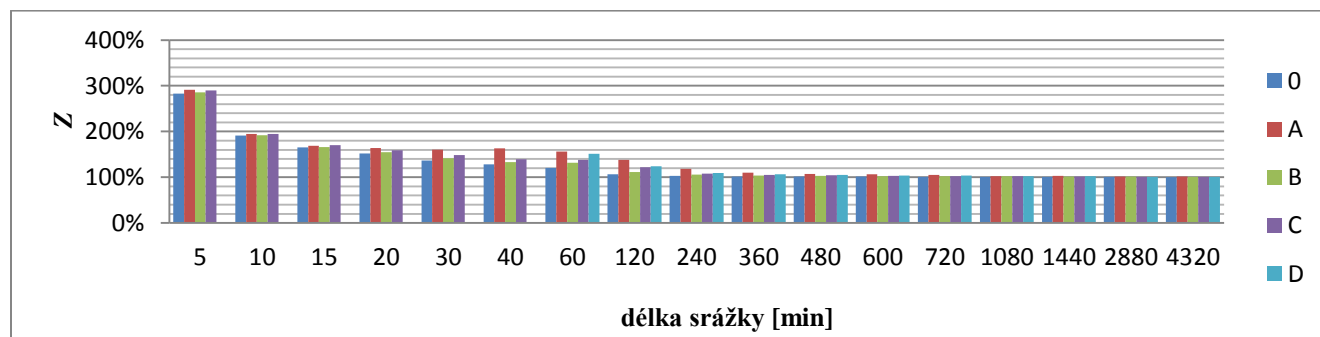
Obr. 11p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, Clarkův UH model



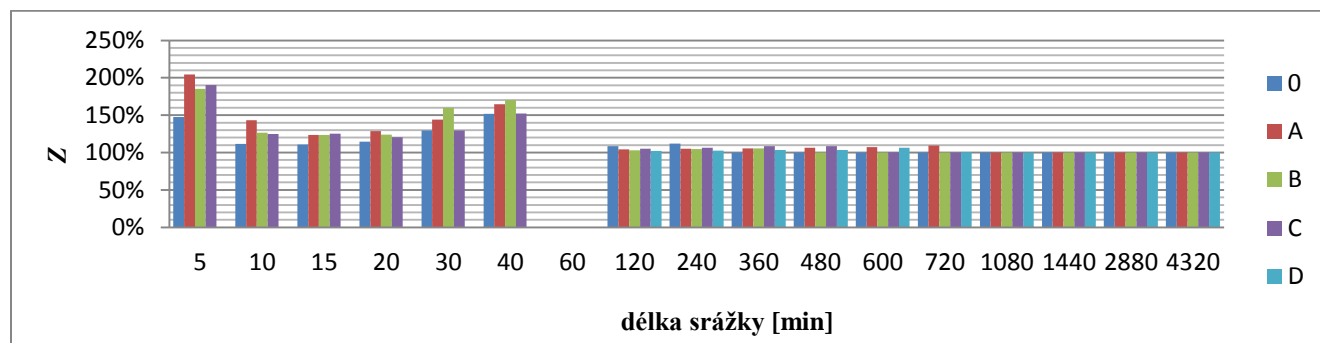
Obr. 12p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, ekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model



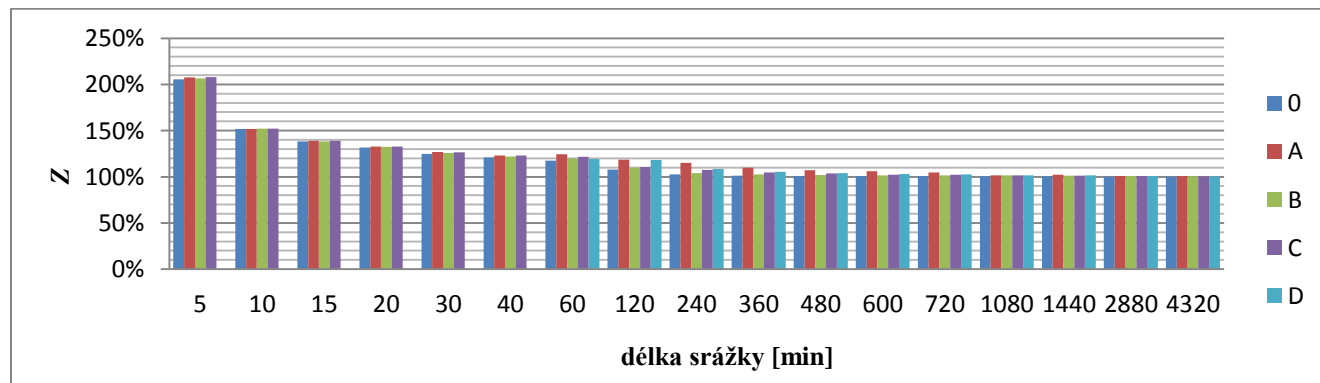
Obr. 13p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, Clarkův UH model



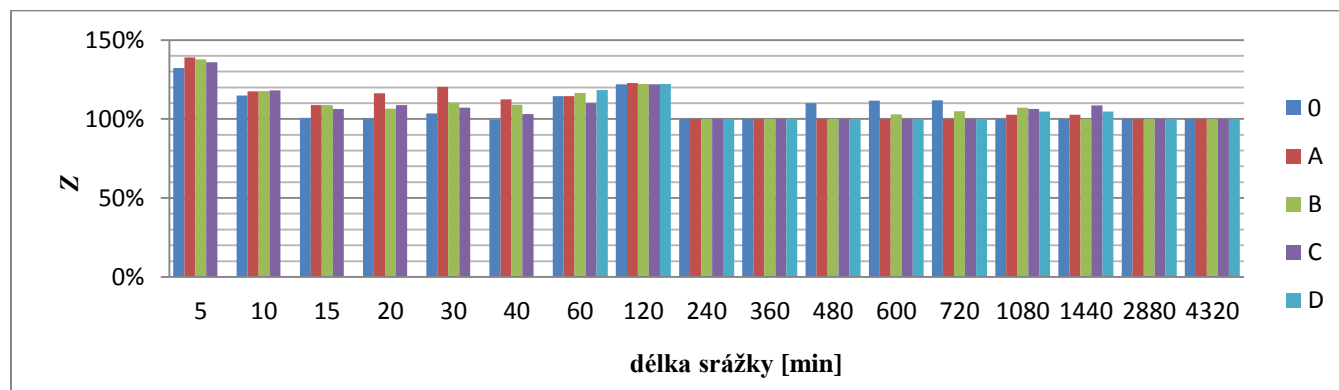
Obr. 14p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové maximální srážce, zájmové území PALÁC STROMOVKA, neekologická varianta stavby, trojúhelníkový UH model



Obr. 15p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, Clarkův UH model

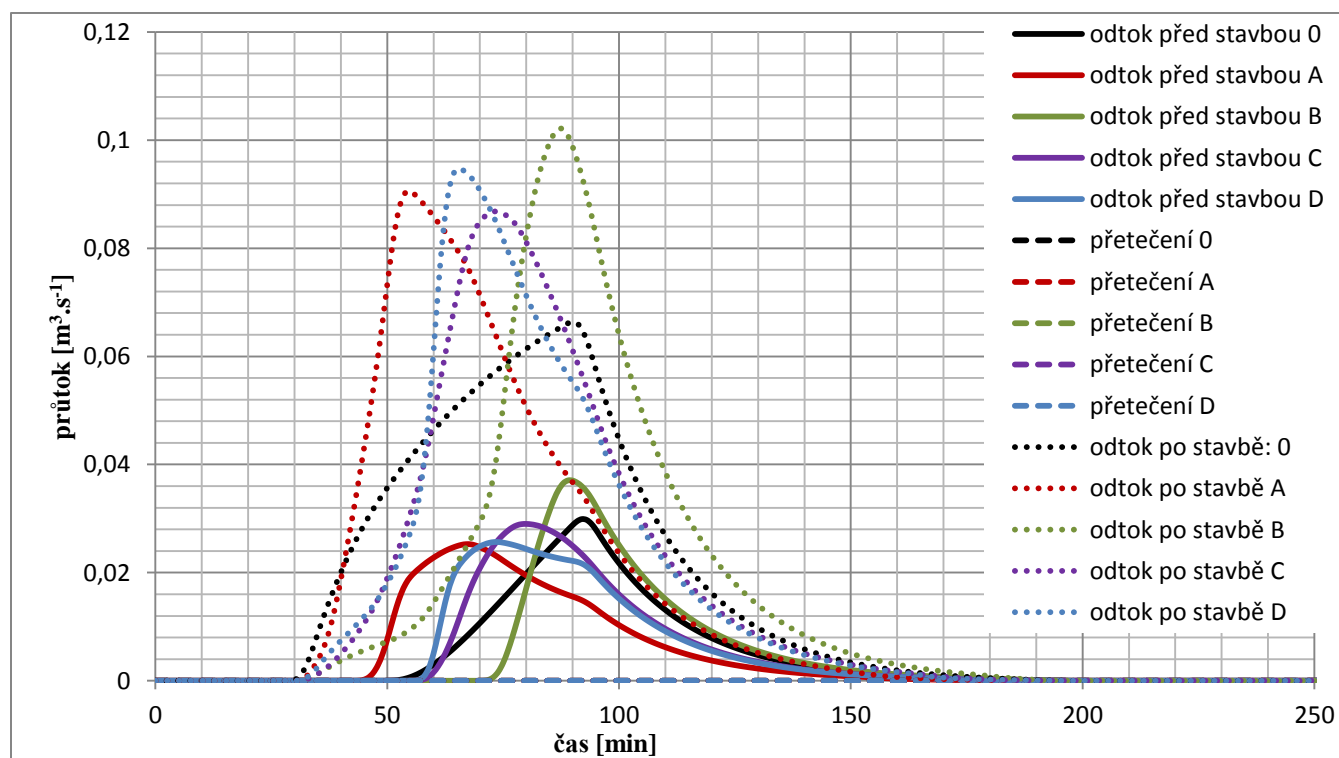


Obr. 16p: Poměr Z kulminace odtoku po stavbě a kulminace odtoku před stavbou při návrhové 5leté srážce, zájmové území RODINNÉ DOMY SUCHDOLSKÁ, trojúhelníkový UH model

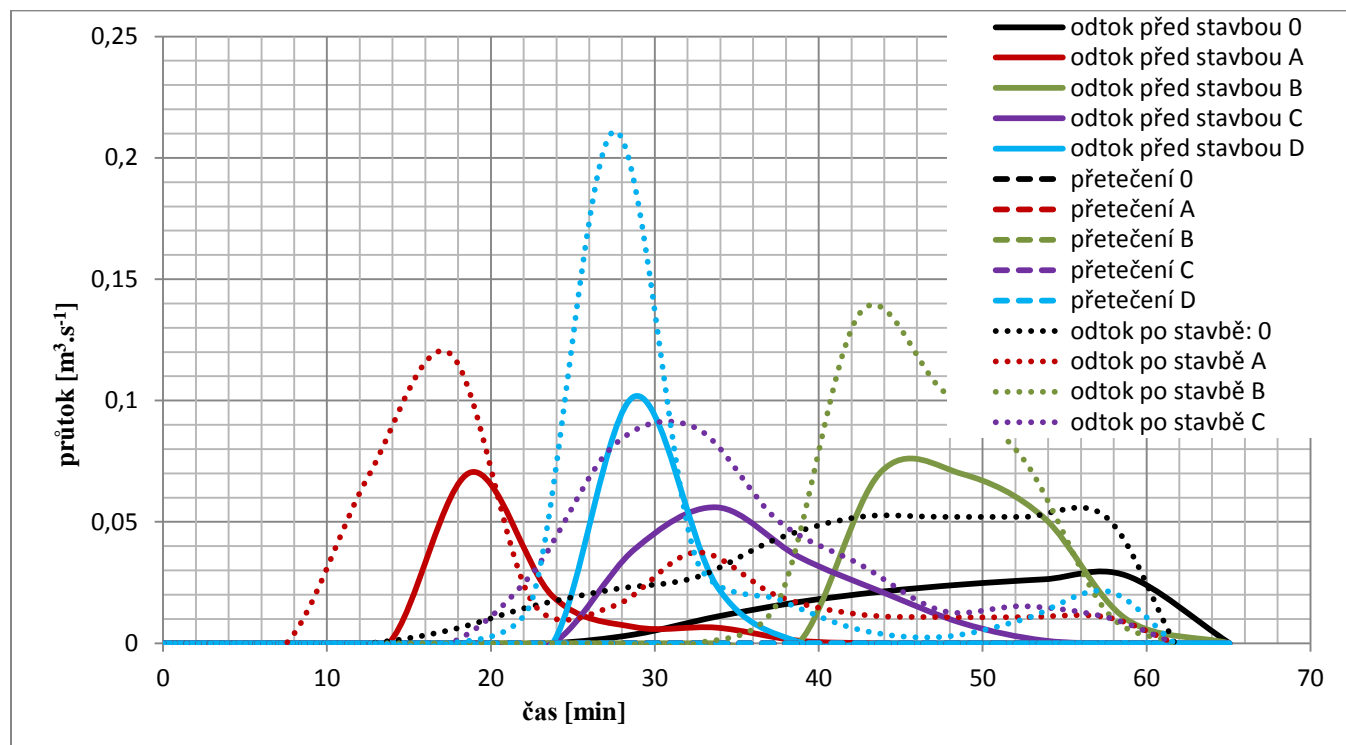


9.3 VILADOMY VELESLAVÍN – časové průběhy odtoku před stavbou, po stavbě a přetečení v případě 60min srážky na zájmovém území

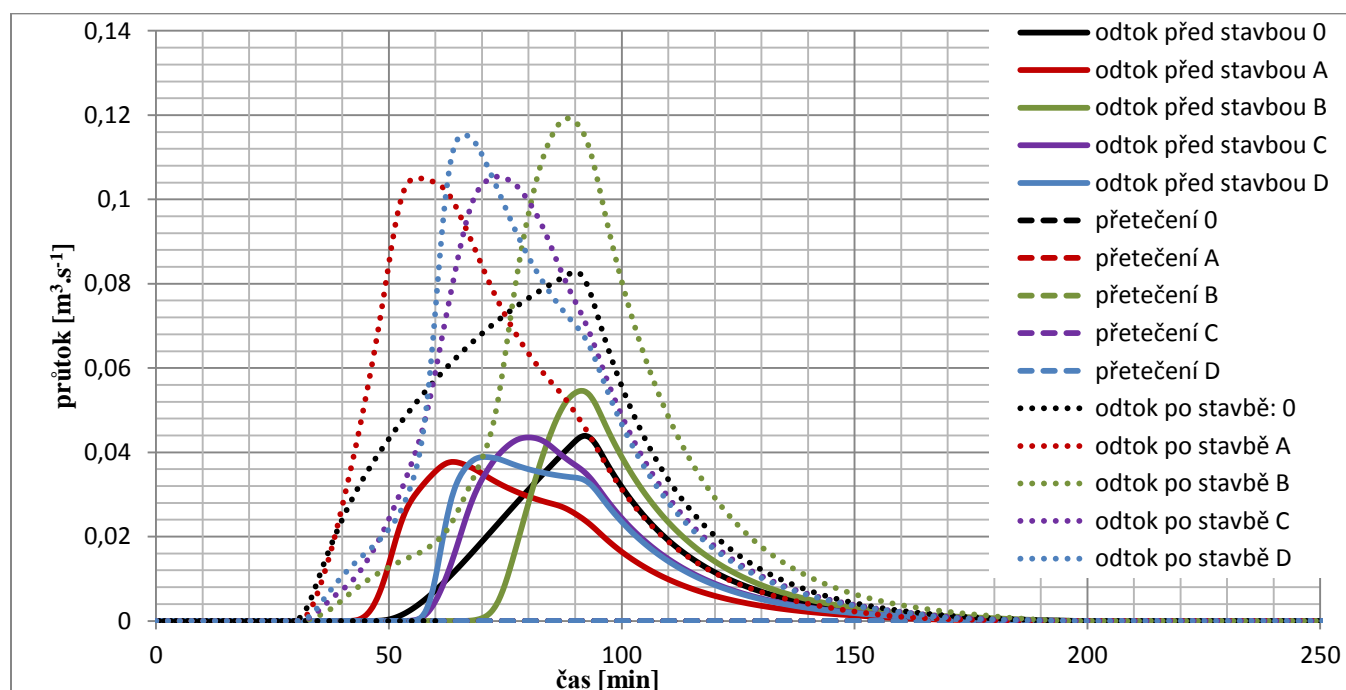
Obr. 17p: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min 5leté srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model



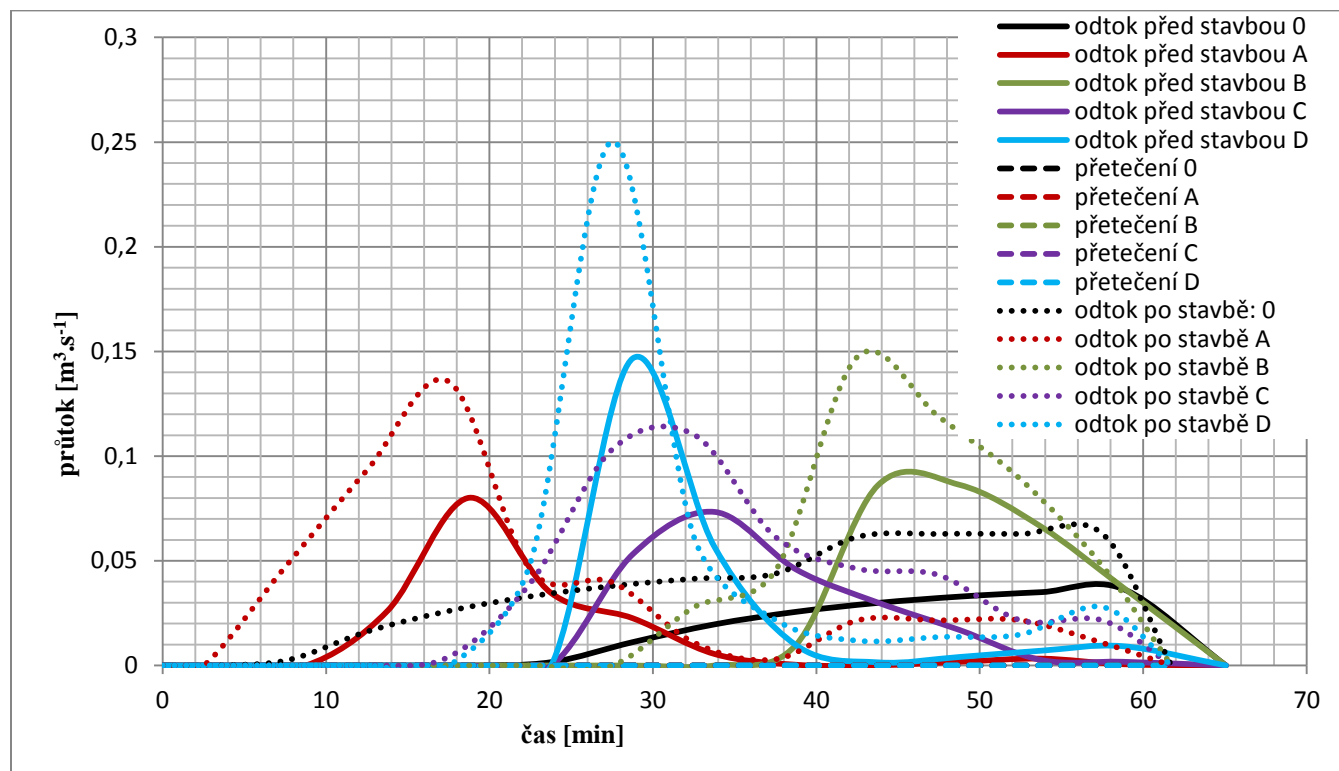
Obr. 18p: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min 5leté srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model



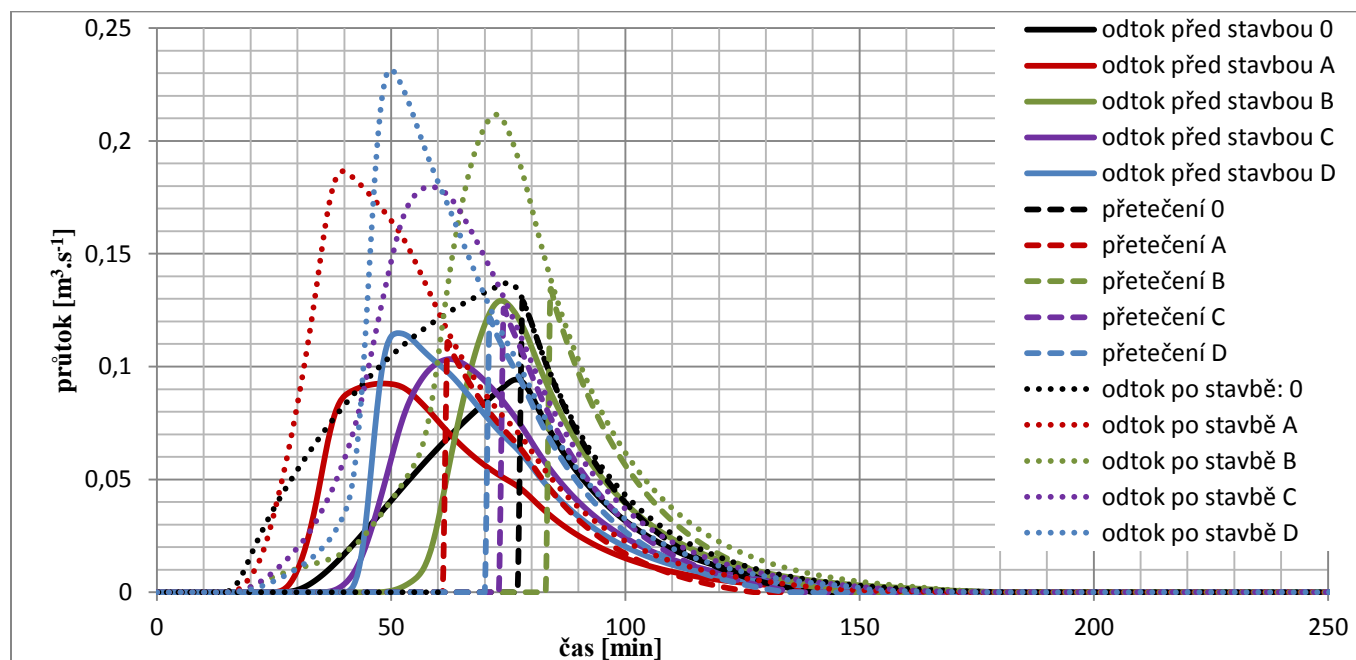
Obr. 19p: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min 10leté srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model



Obr. 20p: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min 10leté srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model



Obr. 21p: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min 100leté srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, Clarkův UH model



Obr. 22p: Průběhy odtoku před stavbou po stavbě a přetečení v případě 60min 100leté srážky na zájmovém území VILADOMY VELESLAVÍN, trojúhelníkový UH model

